This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
$B 35 685
QC
7
V57
YC 22037

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Erlangen Univ.
Class

CT 12 1906

Die

Physik Roger Bacos.

(13. Jahrh.)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

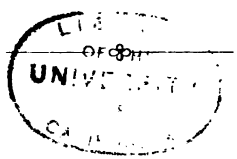
der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt von

Sebastian Vogl.

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 1904.



Erlangen.
K. b. Hof- u. Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn.
1906.

132

QC 7
V57

Referent: Herr Professor Dr. E. Wiedemann.

Dekan: Herr Professor Dr. W. Geiger.

MM

Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann

in Verehrung und Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.

161740

Inhalt.

		Seite
Alphabetisches Literaturverzeichnis		VII—X
Vorwort		XI
Einleitung		1— 2

I. Abschnitt: Roger Bacos Bildungsgang.

1. Kap.	Sein Leben	3— 8
2. Kap.	Lehrer und Freunde Bacos	8—14
3. Kap.	Bacos wissenschaftlicher Standpunkt	14—19
4. Kap.	Schriften Roger Bacos	19—24

II. Abschnitt: Quellen Roger Bacos für seine Physik.

1. Kap.	Griechische Autoren: Aristoteles. — Euklid. — Ptolomäus Claudius. — Tideus. — Theodosius	24—28
2. Kap.	Lateinische Autoren: Plinius. — Seneca. — Solinus. — Constantinus Afrikanus. — Jordanus Nemorarius	28—29
3. Kap.	Arabische Autoren: Ibn al Haitam (Alhazen). — Ibn Sînâ (Avicenna). — Ibn Rošd (Averroes). — Al Kindî. — Tâbit b. Qorra. — Al Fârâbî. — Al-Fargânî. — Al-Battâni. — Ga ʿfar b. Muh. el-Balchî (Albumazar). — Al Gazzâlî. — Al-Zarkâlî. — ʿAlî b. Abî'l Riğâl (Abenragel). — Artephius. — Mâschâllâh. b. Atarî (Messehalac). — El-Quabisî (Alcabitius). — Isak Israeli. — Altavicus	29—36

III. Abschnitt: Physik Roger Bacos.

A. Optik:

1. Kap.	Theorie des Sehens bei den Alten und Arabern	36—40
2. Kap.	Roger Bacos Sehtheorie: Spezies. — Art und Weise der Fortpflanzung der Spezies. — Sie hat 3 Dimensionen, ist materieller Natur, aber kein Körper. — Der Gang des Lichtes erfordert Zeit. — Kreuzung und Vermischung der Spezies. — Stärke der Wirkung. — Sehvorgang nach Roger Baco	40—51

Seite

3. Kap. Das Auge: Häute. — Feuchtigkeiten. — Eigenschaften der Augenteile. — Wo kommt das Sehen eigentlich zustande? — Bedingungen für das Sehen — Optische Täuschungen . . . . . 51—59
4. Kap. Reflexion (Katoptrik): Theorie. — Apparat zur Ermittelung des Reflexionsgesetzes. — Folgerungen und Beispiele . . . . . 59—65
5. Kap. Spiegel: Planspiegel. — Convexspiegel. — Sphärischer Hohlspiegel. — Parabolischer Hohlspiegel . . . . 65—72
6. Kap. Refraktion (Dioptrik): Theorie. — Apparat zur Messung des Brechungswinkels. — Veränderung der Bilder infolge der Strahlenbrechung. — Beispiele. — Vergrösserungsgläser. — Brennkugel . . . . . 72—80
7. Kap. Der Regenbogen . . . . . 80—85
8. Kap. Die durch eine Öffnung erzeugten Bilder (Dunkelkammer) . . . . . 85—88
B. Wärmelehre 88
C. Akustik . . . . . 89—90
D. Mechanik: Einzelne Beobachtungen. — Wage. — Luftdruck. — Gestalt der Welt und Erde. — Ebbe und Flut . . . . . 90—96
E. Magnetismus und Elektrizität . . . . . 96—98
F. Bacos Vorahnungen späterer Erfindungen . . . . . 98—100
Schlusswort 101
Alphabetisches Personenverzeichnis . . . . . 102—105
Lebenslauf 106

Alphabetisches Verzeichnis der hauptsächlich benützten Literatur.

Alhazen: Opticae thesaurus Alhazeni Arabis. Risner, Basil. 1572. — Ebenda De crepusculis et nubium ascensionibus.

Augustin: Musica.

Averroes: Commentarius in libros Aristotelis. Venet. 1552.

Avicenna: Liber sanationis. Rom. Anhang zu Conon Avic.

Baco Roger: The opus majus by John Henry Bridges. 2 Vol.

— The opus maj. of Rog. Bac. Supplementary. Oxford 1900.

— Opera quaedam hactenus inedita. Edit. Brewer. London 1859.

— Specula mathematica — Perspectiva — De Speculis. Combach. Frankf. 1614.

Baarmann: Über das Licht von Ibn al Haitam. Ztschr. d. deutsch-morgenl. Gesellsch. 36. Jahrg. 1882.

Bindl: Versuche der Alten und Araber. Programm. Bamberg 1903.

Bode: Die Alhazensche Spiegelaufgabe in dem Jhr.-Ber. d. phys. Vereins zu Frankfurt 1891/92.

Boll: Stud. über Ptolemäus. Jahrb. d. klass. Philologie 21. Supplement.

Brockelmann: Gesch. der arab. Literatur. 2 Bde. Weimar 1898.

Cantor: Vorles. über Gesch. d. Math. 3 Bde. 2. Auflage. Leipzig 1901.

Carra de Vaux: Gazzali. Paris 1902.

Charles: Roger Bacon: Sa vie, ses ouvrages, ses doctrines. Paris 1861.

Chevreul: Über Artephius im Journal des Savants 1867 u. 1868.

Curtze, Ein Ms. v. Grosseteste in Bibl. math. 1900. 3. F. 1. Bd. 1901.

— Liber trium fratrum (Söhne Mûsâs) in Nova acta d. K. Leop.-Carol. Deutsche Akad. d. Naturforscher Bd. XLIX Nr. 2 1885.

Diels: Doxographi Graeci . . . Berolini 1879.

Dieterici: Die Naturansch. u. Naturphilos. d. Araber im 10. Jahrh. aus den Schriften der „lauteren Brüder". Berlin 1861.

— Musterstaat von Alfârâbî. Leiden 1900.

— Philos. Abhandl. Leiden 1890.

— Anthropologie der Araber im 10. Jahrh. Berlin 1861.

Duhem: Les origines de la Statique. Paris 1905.

Ehrle-Denifle: Zur Gesch. der beiden grossen Mendikantenorden in der 1. Hälfte des 13. Jahrh. Archiv f. Lit.- u. Kirchengesch. 5. Bd. 1889.
Ethé: Die Kosmographie von El-Chazwîni. Leipzig 1868.
Euklid: Optik und Katoptrik.
Exner: Übersetz. des Werkes von Verdet: Vorles. über die Wellentheorie des Lichtes 1883.
Felten: Rob. Grosseteste, Bischof von Lincoln. Herder 1887.
Gerland u. Traumüller: Gesch. der Experimentierkunst. Leipzig 1899.
Gilbert: De Magnete. London 1600.
Gosche: Über Gazzâlî in d. Abhandl. d. kgl. Akad. d. Wissensch. Philol. hist. Abt. Berlin 1858.
Govi, G.: Ptolem. L'Ottica. Turin 1885.
Günther: Gesch. d. antiken Naturwissensch. Nördlingen 1888.
— Über das Experiment im bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1887.
Hankel: Gesch. d. Math. im Altertum und Mittelalter. Leipzig 1874.
Heiberg: Literargesch. Studien über Euklid. Leipzig 1882.
— Euclidis opera omnia. Leipzig 1895.
Heitz: Die verlorenen Schriften d. Aristot. Leipzig 1865.
Heller: Gesch. der Physik von Aristot. bis zur Neuzeit. Stuttgart 1882.
Hellmann: Neudrucke von Schriften und Karten für Meteorologie: Petrus Peregrinus, de Magnete — Theodorich von Freiburg, de Iride. Berlin 1893.
Helmholtz, Handb. d. Physiol. d. Optik. Leipzig 1867.
Hirschberg: Gesch. d. Augenheilkunde. 12. Bd. d. Handb. der gesamten Augenheilkunde. 2. Aufl. Leipzig 1899.
Hirschberg u. Lippert: Die Augenheilkunde des Ibn Sînâ. Leipzig 1902.
Jordanus Nemorarius: De ponderibus publ. v. Petr. Apianus 1533.
Hyrtl: Das Arabische und Hebräische in der Anatomie. 1879.
Kaufmann: Über die Sinne. Leipzig 1884.
— Gesch. d. deutschen Universitäten. 1888.
Krembs: Roger Bacos Optik in „Natur u. Offenbarung". Zeitschr. Jahrg. 1900.
Krüger: L. Apuleji Madaurensis Apologia . . . Berol. 1864.
Langen: Roger Baco in hist. Zeitschr. v. H. Sybel. 1884.
Lippmann: Lionardo da Vinci als Gelehrter und Techniker. Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. 72 (1899).
Lucretius: De rerum natura lib. IV.
Megenberg, Conr.: Buch der Natur. Übers. von Schulz. Greifswald 1897.
Pauli, Rheinh.: Bischof Grosseteste u. Adam von Marsh: Ein Beitrag z. ält. Gesch. d. Univ. Oxford in d. Tübinger Univ.-Schriften. 1864.
Peckham: Perspectiva libri III.
Poggendorf: Vorles. über Gesch. d. Phys. Leipzig 1879.
Pohl: Das Verhältn. d. Philos. z. Theol. bei Roger Baco. Dissert. Neustrelitz 1893.
Poske, Fr.: Der Regenbogen bei Aristoteles. Zeitschr. d Math. 28 (1883) hist. Abt.
Priestley: Gesch. u. gegenw. Stand d. Optik. Aus dem Engl. übers. v. S. Klügel. Leipzig 1775. 2 Bde.
Risner: Cf. Alhazen u. Vítello.

Rose: Anecdota graeca et graecolat. 1870. II.

— Aristoteles u. Arnoldus Sato de lapidus in Zeitschr. f. d. Altertumskunde 18 (1874/75).

Rosenberger: Gesch. d. Physik. Braunschweig 1882.

Ruska: Das Steinbuch aus d. Kosmogr. des Al-Kazwînî. Beilage z. Jahrb. der Oberrealschule in Heidelberg. 1895/96.

Schnaase: Alhazen, ein Beitr. z. Gesch. d. Physik in den Schriften der naturforsch. Ges. zu Danzig. N. F. Bd. VII H. 3 1890.

Schneider, L.: Roger Baco, eine Monographie als Beitr. z. Gesch. d. Phil. d. 13. Jahrh. Augsburg 1873.

Siebert, H.: Roger Bacon, sein Leben und seine Philosophie. Inaug.-Dissert. Marburg 1861.

Sighart: Albertus Magnus, sein Leben . . . Regensburg 1857.

Steinschneider: Zur pseudoepigr. Lit. d. Mittelalters. Berlin 1862. — Über Steinschneiders weitere Arbeiten verweisen wir auf Zeitschr. d. deutsch-morgenl. Gesellsch. Bd. 50 p. 371 und E. Wiedemann in d. Beiträgen z. d. Naturwissensch. III. Sitz.-Ber. des phys.-med. Sozietät. Erlangen 1905 p. 219.

Suter: Die Mathem. und Astron. der Araber und ihre Werke in d. Abhandl. z. Gesch. d. math. Wissensch. X. Heft. zugl. Supplement z. 45. Jahrg. d. Zeitschr. f. Math.

— Das Mathematikerverz. im Fihrist des Ibn Abû Ja'Kub An-Nadîm in Zeitschr. f. Math. Leipzig 1892 37. Supplement.

Tanner: Bibl. Brit. Lib. London 1748.

Vitello: Optik libri X. in d. Ausgabe d. Opt. d. Alhazen von Risner. Basel 1572.

Wadding: Annales minorum. Lyon 1628.

Wenrich: De auctorum Graecorum versionibus et Commentariis. Lips. 1842.

Werner: Kosmologie und allgem. Naturlehre d. Roger Baco. Wien 1879.

— Die Psychologie, Erkenntnis und Wissenschaftslehre Roger Bacos, in d. Sitz.-Ber. d. kais. Acad. d. Wissensch. in Wien. Jahrg. 1879. Jan. u. Febr.

Wiedemann, E.: Aufsätze über Ibn al Haitam und über Naturwissensch. bei den Arabern in Pogg. Ann. **159**. S. 656. 1876. Wiedem. Ann. **1**. S. 480; **4**. S. 320; **7**. S. 679; **14**. S. 368; **17**. S. 350, 1043; **20**. S. 337, 539; **21**. S. 541; **39**. S. 110, 319, 470, 565.

— Über die Optik Ibn al Haitams: Bulletino di Boncampagni. April 1881.

— Bemerkungen zu Baarmann „über das Licht" in Zeitschr. d. deutsch-morgenl. Gesellsch. Bd. 38. 1884.

— Über das Licht der Sterne in Wochenschr. f. Astronomie, Meteorol. und Geogr. 1890. Nr. 17.

— Über die Naturwissensch. bei den Arabern. Hamburg 1890.

— Beiträge z. Gesch. d. Naturwissensch. bei d. Arab. in d. Sitz.-Ber. d. phys.-med. Sozietät. Erlangen I. 1902; II. 1904; III., IV. 1905.

Wilde: Gesch. d. Optik. Berlin 1838.

Winter: Op. egregium Avicennae. Inaug.-Dissert. Erlangen. (München 1903).

Wüstenfeld: Gesch. d. arab. Ärzte u. Naturforscher. Göttingen 1840.
— Die Übersetz. arab. Werke ins Latein seit dem 11. Jahrh. in den Abh. d. k. Gesellsch. zu Göttingen 1877.
W. O.: Roger Baco, eine kulturhist. Studie in Gelzers protest. Monatsblättern 1866. Bd. 27. 1. Heft.

Anm. 1. Die beiden von Suter genannten Werke zitieren wir nur mit: Suter, Abh. und Suter, Zeitschr.

Anm. 2. Die Arbeit Wüstenfelds: Die Übers. arab. Werke ins Latein. bezeichnen wir mit: Wüstenfeld, Abh.

Anm. 3. Alles, was wir aus Roger Baco entnehmen, ist in Petit gedruckt.

Vorwort.

In der vorliegenden Arbeit sollen die physikalischen Leistungen Roger Bacos, eines der hervorragendsten Vertreter der naturwissenschaftlichen Richtung zur Zeit der mittelalterlichen Scholastik eingehend besprochen werden.

Da die Scholastiker und vor allem Roger Baco bei den von ihnen behandelten Problemen vielfach an die vorausgehenden Forschungen der Araber anknüpfen, so konnten erst nach Vorarbeiten in dieser Richtung einigermassen sichere Ergebnisse erwartet werden. Solche liegen nun seit den letzten Jahrzenten in den Publikationen literarhistorischen Inhalts von Steinschneider, Curtze, Suter, und solchen sachlichen Inhalts wie von Wöpcke, Cantor und E. Wiedemann vor.

Ich habe auf Anregung meines hochverehrten Lehrers Herrn Dr. E. Wiedemann in Erlangen ein Bild von der Tätigkeit des Scholastikers zu geben versucht. Für die Einführung in das Thema und insbesonders für die mannigfachen fördernden Winke sei ihm hiermit der wärmste Dank ausgesprochen.

Desgleichen möchte ich Herrn Professor A. A. Björnbo in Kopenhagen für seine Mitteilungen über Tideus bestens danken.

Die zahlreichen Werke, die zur Ausführung der Arbeit nötig waren, wurden hauptsächlich der K. Hof- und Staatsbibliothek, der K. Universitätsbibliothek und der Stiftsbibliothek St. Bonifaz in München entlehnt. Den Vorständen derselben sei für die freundliche Überlassung der Bücher bestens gedankt.

Einleitung.

In der Geschichte der Wissenschaften und damit auch der Physik sind jene Epochen von besonderer Bedeutung, in denen die Entwicklung neue Wege zu verzeichnen hat. Als ein solcher Wendepunkt muss das Zeitalter der mittelalterlichen Scholastik betrachtet werden, mit dem die alte Physik im grossen und ganzen abschliesst (ca. 1400). Der Übergang zur neueren Physik ist kein plötzlicher. Die Darstellungen eines Nikolaus Cusanus und Lionardo da Vinci erinnern noch vielfach an ihre scholastischen Vorgänger, weisen aber doch schon durch ihre zahlreichen positiven, besonders auf mechanischer Grundlage fussenden Resultate deutlich auf jene Behandlungsweise der Physik hin, die dann Baco von Verulam theoretisch als die einzig richtige formulierte und die besonders Galilei und andere seiner Zeit vorzüglich zu üben verstanden. Es ist dies die Methode der Induktion, bei der die allgemeinen Gesichtspunkte aus den einzelnen sie erzeugenden Momenten gewonnen werden und zwar mit Hilfe von geeigneten Instrumenten. Hierdurch unterscheidet sich die neuere Physik von der alten, die sich ganz vorwiegend der deduktiven Methode bediente. Wir sagen „ganz vorwiegend"; denn auch die alten Naturforscher gingen nicht ausschliesslich deduktiv zu Werke, sondern hauptsächlich dann, wenn die Mittel zur Beobachtung versagten. Darum finden sich auch bei ihnen gar manche Versuche und auch Instrumente zu ihrer Ausführung, die im wesentlichen zur exakten Forschung ge-

nügten. Wir haben darin die Ansätze zum wissenschaftlichen Experiment und wichtige Momente für die Entwicklung der Physik.

Wenn wir im nachfolgenden die Physik Roger Bacos als Beitrag zur Geschichte der Physik bei den Scholastikern betrachten wollen, so müssen wir vor allem diese Ansätze zum Experiment ins Auge fassen und weiterhin zu erfahren suchen, wie weit sie Eigentum des Gelehrten sind oder den Alten und Arabern entlehnt wurden.

Wir wollen in 3 Abschnitten darlegen:

I. Bildungsgang Roger Bacos.

II. Quellen für seine Physik.

III. Physik Roger Bacos.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

I. Abschnitt.

Roger Bacos Bildungsgang.

1. Kapitel.

Sein Leben.

Um die Zeit, als die zwei grossen Orden der Dominikaner und Franziskaner in die Welt traten, wurde in England ein Mann geboren, der als hervorragender Vertreter der naturwissenschaftlichen Richtung die Augen der Mit- und Nachwelt auf sich zog. Es ist dies Roger Baco mit dem Beinamen doctor mirabilis. Wie die Quellen[1]) berichten, wurde er zwischen 1210 und 1214 aus adeliger Familie in der Nähe von Ilcester in der Grafschaft Sommerset geboren. Die trefflichen Anlagen des Knaben fanden eine sorgfältige Pflege im Elternhause. Allmählich entwickelten sich bei ihm jene charakteristischen Züge, die uns in seinem späteren Leben und Wirken allenthalben begegnen, nämlich sein scharfer, kritischer Geist, unbeugsame Willenskraft, tiefer moralischer Ernst, und eine ausgesprochene Abneigung gegen das Denken und Tun der Alltagsmenschen, die über das Hergebrachte nicht hinauskommen: Eigenschaften, die ihm, wie wir sehen werden, manche herbe Lebensschicksale verursachten.

Zur weiteren Ausbildung kam Baco zunächst an die Hochschule

[1]) Wir berichten über Bacos Leben nur so viel, als zum Verständnis seiner Lage geboten scheint. Näheres enthalten die Vorreden zu den Ausgaben des opus maius von Jebb und Bridges, sowie zu der Sammlung Baconscher Schriften von Brewer. Eine eingehende Biographie hat Charles verfasst: Rog. Bac. sa vie, ses ouvrages, ses doctrines. Paris 1861. In ihr finden sich auch die älteren Quellen für Bacons Leben verzeichnet, als welche hauptsächlich die Werke von Balce, Pitseus, Wadding, Oudin, Tanner in Betracht kommen. Auf die Arbeit von Charles stützen sich mehr oder minder alle späteren Abhandlungen über unseren Autor, die wir nur im Literaturverzeichnis dieser Arbeit anführen.

Oxford, wo ein älterer Verwandter, vielleicht sein Oheim, Robert Baco, Lehrer an der Akademie war. In Oxford[1]) waren im August des Jahres 1221 die ersten Dominikaner eingezogen, hatten vor den Toren der Stadt Kapelle und Schule eröffnet und begannen gar bald in das Leben der Hochschule einzugreifen. Drei Jahre später langten auch die Franziskaner dort an, und errichteten gleichfalls in der Vorstadt Schule und Wohnstätte. Franziskaner wie Dominikaner wären indessen schwerlich zu ihrem Einfluss auf die Hochschule gelangt, wenn ihnen nicht die Lehrer an derselben selbst die Hand geboten hätten. So hören wir, dass der schon genannte Robert Baco in seinen alten Tagen[2]) noch das Kleid des hl. Dominikus nahm, dass ein anderer Lehrer, Richard Fitsacer, ihm nachfolgte, während der einflussreiche Adam von Marisco sich den Franziskanern anschloss, die ihn dann bald zu ihrem Oberen erwählten. Der bedeutendste Anwalt erwuchs jedoch den Franziskanern in dem Kanzler der Universität selbst, Robert Grosseteste, dem nachmaligen Bischof von Lincoln. Er war der treueste Freund Adams von Marsch und bekleidete neben seiner Stelle als Kanzler der Hochschule auch das Amt eines Lektors für die Brüder. Dabei lernte er ihre Tüchtigkeit so schätzen, dass er sie bald für die Zwecke seines vielseitigen Amtes allen vorzog.

So standen die Verhältnisse in Oxford, als Roger Baco an die Hochschule kam. Schnell war der lernbegierige Jüngling für die weitgehenden Kenntnisse eines Grosseteste und Adams von Marsch begeistert, die nicht bloss in Theologie und Philosophie, sondern auch in den Sprachen und in physikalischen Problemen bewandert waren. Gar bald erfreute sich der Schüler der Zufriedenheit und des Wohlwollens seiner Lehrer. Zugleich übte das grosse Ansehen der neuen Orden auf ihn einen tiefen Einfluss aus, der den Gedanken entfachte nach Vollendung der Studien der einen oder anderen Ordensfamilie beizutreten.

Von Oxford wandte sich Baco nach Paris (ca. 1240), wo das geistige Leben der damaligen Zeit seinen grössten Glanz entfaltete und wohin jeder seine Schritte lenkte, der sich zum Magister ausbilden wollte.

Für die Pariser Universität hatte der Anfang des 13. Jahrhunderts neues Leben gebracht durch die sogenannte arabisch-jüdische Wissen-

[1]) Robert Grosseteste und Adam von Marsch in den Tübinger Universit. Schriften 1864 p. 9ff.

[2]) Tanner p. 2.

schaft, die dort ihren Einzug hielt. Im Vordergrunde des Interesses standen die Werke des Aristoteles, die von den Arabern eine reichhaltige Bearbeitung erfahren hatten. Zunächst waren es die logischen und erst später auch die physischen und metaphysischen Schriften. Auch hatten seit etwa 1230 Lehrer aus dem Dominikanerorden Zutritt zu den Magisterstellen erlangt. Franziskaner, wie Alexander von Hales, folgten nach, und es entspann sich bald ein Wettstreit zwischen beiden Orden, der dem Zeitgeist entsprechend oft in endlosen Wortgefechten zum Austrag kam und Lehrer wie Schüler mit sich fortriss[1]).

Baco scheint an diesem Treiben wenig Geschmack gefunden zu haben. In ihm begann die Überzeugung zu reifen, dass die Wissenschaft viel tiefere Grundlagen haben müsse. Er erwarb sich zunächst den Doktorgrad in der Theologie, wandte sich aber dann mit allem Eifer jenen Studien zu, auf die schon seine Lehrer in Oxford seine Aufmerksamkeit gelenkt hatten, auf die Pflege der Sprachen, der Mathematik und der physikalischen Wissenschaften. Gerade für die Naturwissenschaften bot ihm Paris Gelegenheit, manche arabische Autoren kennen zu lernen wie Avicenna, Averroes und Ibn al Haitam, den Alhazen des Abendlandes, von deren Werken eine grössere Reihe von Übersetzungen ins Latein existierten[2]). Mit welchem Eifer Baco diesen Studien zugetan war, ersehen wir aus seinen eigenen Worten an Papst Clemens IV.[3]): „Ich habe," schreibt er, „von Jugend auf in Wissenschaft und Sprachen geforscht und viel Nützliches gesammelt und nach Autoren geordnet. Denn ich suchte die Freundschaft aller Gelehrten unter den Lateinern und liess auch selbst wieder Jünglinge in Sprachen, in Geometrie (in figuris), Arithmetik (in numeris), Astronomie (in tabulis), Experimentalwissenschaft (in instrumentis) und vielem Notwendigen unterrichten. — Wenn jeder es sich so viel kosten liesse wie ich, würde ein grosser Teil der Physik vollständiger bearbeitet sein; denn ich habe während 20 Jahren mehr als 2000 Libras (1 libra = ca. 50 Mk.) für seltene Werke, verschiedene Instrumente und Experimente aufgewendet."

In der Pflege dieser Wissenschaften erkannte Baco seine Lebensaufgabe und gedachte sie im Orden der Franziskaner zu lösen. Vielleicht bald nach seiner Rückkehr nach Oxford[4]) nahm er das Ordenskleid, ein Schritt, der ihm stets die grössten Hindernisse für die Ausführung seiner Pläne bereiten sollte. Denn gar bald erregte er

[1]) Vgl. Kaufmann: Gesch. d. Universitäten p. 278.

[2]) Näheres Wüstenfeld: Abh. d. Göttinger Ges. Die lat. Übersetz. arab. Werke.

[3]) Opus III. Ed. Brewer p. 16; 58ff.

[4]) In Oxford als Franzisk. ungef. von 1250—57.

Anstoss bei seinen Ordensbrüdern. Durch seine umfassende Beschäftigung mit den „geheimen“ Wissenschaften, wie man das Erforschen der Naturgesetze nannte, und durch die Betonung derselben, sowie durch seine Stellung zur Wissenschaft seiner Zeit überhaupt geriet er in Zwiespalt mit dem Tendenzen seines Ordens, welche prinzipiell auf die Förderung der Theologie gerichtet waren. Auch Bonaventura, der 1255 Ordensgeneral wurde, gab ihm zu erkennen, dass er mit seinen Bestrebungen nicht einverstanden sei. Da seine alten, einflussreichen Lehrer und Freunde gestorben, die jüngeren aber machtlos waren, so hatte Baco niemand, der für seine Ideen eingetreten wäre. Schliesslich kam es soweit, dass man ihn als gefährlichen Neuerer von Oxford abrief und in das grosse Ordenshaus nach Paris versetzte (1257). Hier begann für ihn eine harte Zeit. Er war von seinen Schülern und Freunden getrennt und wurde wie ein Gefangener behandelt. Im Opus tertium beklagt er selbst bitter seine Lage. Er schien verloren und seine Ideen mit ihm begraben zu sein. Da trat ein Ereignis ein, das ihm die Hoffnung auf die Freiheit und auf den Sieg seiner Ideen wieder gab.

Im Jahre 1265 bestieg Guido Fulcodi, der als päpstlicher Legat in England bereits von Baco gehört und sich für seine Forschungen interessiert hatte, den päpstlichen Thron als Clemens IV. Baco jubelte auf. Bald gelang es ihm einen Brief an ihn zu senden, worin er über seine Bedrückung klagt und auch dem Papste mündlich wissen lässt, wie es um seine Beziehung zum Orden stehe. Der Papst antwortete ihm unter dem 22. Juli 1266 aus Viterbo, wie folgt:

„Unserem geliebten Sohne, Bruder Roger Baco. O.S. Fr. Min. Dein ehrfurchtsvolles Schreiben haben Wir wohlgefällig aufgenommen und auch die Klagen gehört, welche Unser geliebter Sohn G., der Ritter Bonnecor genannt, Uns mündlich sinngetreu und verständlich zur Erklärung gab. Damit wir nun besser verstehen, was Du anstrebst, wollen Wir und befehlen Wir Dir durch Unser apostolisches Schreiben, dass Du uns möglichst bald jenes Werk in guter Schrift zuschickest, das Wir Uns seiner Zeit, als wir noch nicht Papst waren, durch Unsern geliebten Sohn Raymund de Lauduno erbaten. Zugleich sollst Du erklären, welche Mittel man Deiner Ansicht nach anwenden müsse betreffs jener Mitteilungen, die Du uns neulich unter so grossen Gefahren nahe legen liessest. Und das sollst Du möglichst geheim und ohne Verzug tun und keine Vorschrift eines Oberen oder eine Regel Deines Ordens soll Dir dabei im Wege stehen.“

Baco war überglücklich und glaubte sich schon am Ziele seiner Wünsche. Doch bald erhoben sich neue Schwierigkeiten. Woher soll er bei seiner Armut die Mittel nehmen um sich das notwendige Papier zu verschaffen, das so teuer war? In seiner Not blieb nichts übrig, als sich das Geld von einfachen Leuten zu erbetteln. Dann ging er mit unermüdlichem Eifer an seine Arbeit und binnen Jahresfrist war er fertig. In dieser kurzen Zeit schrieb er das Opus maius, minus und tertium, letzteres als einen Auszug aus dem Opus maius und in sprachlich schöner Form, um dem Papste das Lesen des grösseren Werkes zu ersparen und übersandte sie 1267 nebst einer Brennkugel [1]) an den päpstlichen Gönner, der sie sehr gnädig aufnahm. Leider starb der Papst ohne Bacos Hoffnungen vollständig erfüllt zu haben. Auch die Wahl Gregors X., die erst nach drei Jahren und zwar unter Bonaventuras Einfluss erfolgte, gewährte keine guten Aussichten. Als Baco merkte, dass man neuerdings gegen ihn vorzugehen beabsichtige, ergoss er seinen ganzen Schmerz in der Schrift: Compendium studii philosophiae (1271). Doch brach das Unheil erst 1278 über ihn herein, als der Ordensgeneral Hieronymus von Ascoli die Untersuchung gegen ihn wieder aufnahm, ihn verurteilte und ihn aufs neue der Freiheit beraubte. Erst nach 14 Jahren, im Jahre 1292 gab sie ihm ein neuer General Raymund Galfredi wieder. Kurz darauf schrieb er noch sein Compendium der Theologie; dann erlischt die Kunde von ihm und seinen Werken [2]).

Wie so viele Gelehrte, die ihrem Zeitalter oder dem Kreise, in dem sie sich bewegten, in ihren Anschauungen voraneilten, so hat auch Roger Baco das Bitterste, was es für einen Forscher gibt, erfahren müssen, nämlich nicht nur nicht verstanden, sondern sogar verkannt zu werden. Wir müssen die harte Behandlung und die Not, welche er erlitten, lebhaft bedauern, dürfen sie jedoch nicht nach unseren modernen Verhältnissen beurteilen.

Für den Zweck der vorliegenden Arbeit, welche die physikalischen Leistungen des Scholastikers würdigen soll, dürfen aber seine herben Lebensschicksale nicht übersehen werden. Denn, hatte Baco vor seinem

---

[1]) Op. III. p. 111 crystallum sphaericum, an welchem der Überbringer dem Papste den Gang der Strahlen zeigen sollte. Näheres über die Brennkugel im III. Absch.

[2]) Die Angabe Waddings (II. p. 504), dass Baco 1284 gestorben sei, ist wie manche andere Mitteilung bei ihm unrichtig. Die letzte Schrift Bacos trägt noch die Jahreszahl 1292.

Eintritt in dem Orden grosse Opfer für seine Studien bringen können, so fehlten ihm jetzt im Kloster diese Mittel gänzlich und dazu auch noch die nötige Ruhe für seine Forschungen. Darum musste er sich auch meistens mit dem Berichte der Autoren begnügen und konnte so wenig Versuche über die Erscheinungen selbst anstellen.

2. Kapitel.

Lehrer und Freunde Bacos.

Von all den gelehrten Männern, welche mit Roger Baco in Beziehung standen, übte den grössten Einfluss auf ihn wohl sein Lehrer

Robert Grosseteste 1175—1253

in Oxford aus. Dieser hatte an den Schulen zu Paris und Oxford studiert, wurde an letzterer Magister, Rektor der Theologie und schliesslich Kanzler der Universität. Von 1235—1253 treffen wir ihn als Bischof von Lincoln und immer noch tätig für die Hochschule. Seine wissenschaftliche Bildung war seiner Zeit entsprechend mehr eine encyklopädische[1]). Neben theologischen Studien beschäftigte er sich vor allem mit Aristoteles, von dessen Schriften er die 8 Bücher der Physik, die Schrift über Himmel und Welt, über Entstehen und Vergehen und über die Meteore kommentierte[2]). Dass ihn überhaupt seine ganze Geistesrichtung sehr zum Studium der Mathematik und der Natur hinzog, zeigen die zahlreichen Spuren, die sich davon in seinen Briefen und theologischen Werken, ja selbst in seine Predigten eingeflochten finden[3]). Als eigentliche Frucht seiner naturwissenschaftlichen Tätigkeit finden sich zunächst in einem noch ungedruckten Kompendium der Wissenschaften, das

---

[1]) Solche Encyklopädien existierten vielfach bei den Arabern. Näheres E. Wiedemann: Beiträge IV. Bibl. math. 1905 p. 129 und Brockelmann: Gesch. der arab. Lit.

[2]) Vgl. Tanner: Bibl. Brit. . . . p. 346ff. Ein etwa 20 Oktavseiten füllender Auszug, der als Summa des Robert von Lincoln noch im 16. Jahrh. hochgeschätzt und meist als Anhang zum Kommentar des hl. Thomas von Aquin gedruckt wurde, mag als der genannte Kommentar zu den aristotelischen Büchern der Physik gelten. cf. opera S. Thomae. Vol. 2 im VIII. libr. Phys. Arist. Romae 1884. p. XV. sequ. Grosseteste liess auch Übers. der ethischen Schriften des Arist. nach dem griech. Texte anfertigen: nova translatio. Überweg-Heinze II. 257.

[3]) Felten: Rob. Grosseste. (1887) p. 73f.

eine Art Encyklopädie darstellt, Abhandlungen über Naturphilosophie, Medizin, Musik, Astronomie, über die Wissenschaft der Aspekte (opt. Arbeit), Astrologie, Mathematik, Geometrie, Arithmetik, Grammatik u. s. f.[1]). Ferner haben wir eine Abhandlung über die Weltkugel[2]), über Planetenbahnen[3]), über Osterrechnung[4]), ein Kalendarium[5]) und eine Summa[6]), worin er von den Farben, dem Lichte, dem Regenbogen, den Kometen und dem Nutzen der freien Künste spricht. Im Zusammenhang damit steht wohl auch der Traktat „über die physikalischen Linien, Winkel und Figuren, nach welchen alle Wirkungen der Natur sich vollziehen“[7]). Schon ein flüchtiger Vergleich mit Bacos opus majus lässt erkennen, dass er dem Abschnitte: „Nutzen der Mathematik für die Physik“ zu grunde liegt. Baco verweist auch gerade vor diesem Abschnitte auf seinen Lehrer mit den Worten: „Es hat ausgezeichnete Männer gegeben wie der Bischof Robert von Lincoln und Adam von Marsch, welche die Ursachen aller Erscheinungen nach mathematischen Gesetzen erklärten. Wir sehen dies deutlich aus ihren Werken, die da handeln von dem Gange der Strahlen, wie es der Fall ist beim Regenbogen, bei den Kometen, bei den Farben und den Erscheinungen am Himmel.“

Hiermit dürften die naturwissenschaftlichen Beschäftigungen Grossetestes erschöpft sein, soweit sie bis jetzt bekannt sind. Sie zeigen uns, dass Roger Baco eine gute Schule unter seinem vielseitigen Lehrer geboten war. Dass er dessen grosse Ideen erfasste und weiter führte, beweist seine spätere Tätigkeit, die dahin ging, das grammatikalische Sprachstudium als Grundlage für alle Wissenschaften zu fördern und die physikalischen Gebiete durch Beobachtung und Erfahrung immermehr zu erforschen.

Baco selbst schätzt seinen Lehrer überaus hoch. Er nennt ihn einen „ausgezeichneten Übersetzer“; „er allein verstehe die Wissenschaften“; „er sei bewandert in Mathematik und Physik“; „er sei ein weiser Mann und vollkommener Philosoph“.

---

[1]) Felten l. c. und Tanner p. 349.

[2]) Tanner p. 346f.

[3]—[6]) ibid. Dort auch die Handschriften angegeben.

[7]) Opus mai. I. Bd. 68 und 108. Der Traktat ist abgedruckt in der Bibl. math. Jahrg. 1900. 3. Folge. 1. Bd. p. 54; Jahrg. 1901 3. F. 2. Bd. p. 443 wird darauf aufmerksam gemacht, dass diese Abhandlung schon 1503 publiziert wurde (Curtze); nach Felten zu Nürnberg. Sie findet sich auch als Cod. Monac. 534 [S. XIV Blatt 25—26]. Nach Bibl. math. 1901 p. 444 ist das Schriftstück nur ein Teil eines grösseren Werkes, von dem sich die genannten Teile de luce, colore, iride in d. Dibg. MS. erhalten haben.

Leider wartet Grosseteste immer noch auf seinen Historiker, so dass es bis jetzt nicht möglich ist, nähere Vergleiche zwischen seinen und Bacos Schriften anzustellen.

Bei der umfassenden Tätigkeit, die Grosseteste an der Oxforder Universität entwickelte, stand ihm der schon genannte Magister

Adam von Marsch (doctor illustratus)

als treuester Freund zur Seite[1]). Auch dieser hat auf Baco einen bedeutenden Einfluss ausgeübt, wie wir dem Lobe entnehmen, das er ihm spendet: „Bruder Adam", sagt er, „ist eine erleuchtete Seele, gelehrt in der Mathematik, in den Naturwissenschaften, in der Perspektive (Optik) wie Grosseteste bewandert und der Sprachen kundig. Gegen Ende seines Lebens verliess er Reichtum und Ehren, um im Franziskanerorden seine Tage zu beschliessen"[2]). Von naturwissenschaftlichen Schriften ist bisher nichts bekannt geworden.

Noch weniger berichtet Baco über seine weiteren Lehrer und Freunde zu Oxford. Zu diesen gehörten sein Verwandter, Robert Baco, Richard Fitsacer[3]) und der spätere Erzbischof Edmund Rich[4]). Den Namen des letzteren nennt Baco in einem theologischen Werke, während er nirgends der beiden ersteren gedenkt.

Gelegentlich tauchen bei Baco noch einige Namen von gelehrten Zeitgenossen auf, die aber auf seinen Bildungsgang wohl keinen namhaften Einfluss ausübten. So wird Wilhelm Shirwode, der Schatzmeister von Lincoln, genannt, den er als weiser wie Albertus Magnus bezeichnet, wiewohl er letzteren nicht gering schätzt[5]); ferner Magister Nikolaus[6]), der Lehrer des Amaury von Montfort, Campano von Novarra[7]), der als vorzüglicher Mathematiker und Chronist gilt und endlich Johannes von London. Welche Persönlichkeit mit letzterem gemeint ist, steht nicht fest. Jebb[8]) identifiziert ihn mit Joh. Peckham (1228—1291), Erzbischof von Canterbury. In der Tat war

---

[1]) Es existieren nahezu 300 Briefe zwischen ihm und Grosseteste. Näheres Tüb. Univ.-Schr., p. 13 f.

[2]) Op. mai. I. 73; op. III. cap. 22.

[3]) Tanner p. 282 rechnet ihn zu den intimsten Freunden Bacos. Er war ausschliesslich Theologe.

[4]) Tanner p. 64 erwähnt eine Schrift Bacos: De vita Edmundi, archiepisc. Cant.

[5]) Op. III. cap. II f.

[6]) Tanner p. 545; Charles p. 15; Op. III. p. 14.

[7]) Charles p. 15.

[8]) Brewer Op. Bac. p. 14.

dieser Zeitgenosse Bacos als Jüngling zu Oxford und Paris und war auch später noch ein grosser Verehrer der Franziskaner[1]), mit deren Lehrmeinungen er sympathisierte. Auch den Naturwissenschaften war er zugetan und hinterliess das optische Werk: Perspectiva communis in drei Büchern. Charles[2]) will unter diesem Johannes aus London den Johannes Basingstocke bezeichnet wissen, der Grosseteste bei den Übersetzungen aus dem Griechischen behilflich war und 1252 starb. Ein dritter wäre jener Johannes Londinensis[3]), den Baco als Jüngling unterrichtete, der ihm auch nach Paris folgte und seine Werke dem Papste Clemens IV. überbrachte. Baco spricht von ihm mit grösster Begeisterung. Auch schrieb dieser verschiedene naturwissenschaftliche Werke[4]). Doch hatte er seine Blütezeit ca. 1270 und war deshalb an der bezeichneten Stelle wohl nicht gemeint.

Folgen wir nun Baco nach Paris und halten wir Umschau, in welchen Kreisen gelehrter Männer er sich dort bewegte.

Nach der scharfen Kritik, die Baco in späteren Jahren an den dortigen Verhältnissen und der herrschenden Methode übte, lässt sich schliessen, dass ihn die damaligen Lehrer der Hochschule wenig befriedigten. Eigentlich war es nur ein Gelehrter, dem er sein ganzes Interesse zuwandte und besonders deshalb, weil er ihm für seine naturwissenschaftlichen Studien Gewinn bot. Es war dies der Magister

Petrus Peregrinus

aus Maharncuria[5]) (Maricourt) in der Picardie. Baco[6]) bezeichnet diesen Mann als ein Original von der Fussohle bis zum Scheitel, gelehrt in den Sprachen, in der Astronomie, der Mathematik und vor allem in der Experimentalwissenschaft. Erörterungen in langen Wort- und Redegefechten schenke er keine Aufmerksamkeit. Was andere nur im Dunkeln sehen, das ziehe er als Meister des Experiments an das Tageslicht. Durch seine Beobachtungen gewinne er Kenntnisse in der Medizin, Chemie und überhaupt über jedes Ding. Auch den Zaubereien, Beschwörungen und allen geheimen Dingen spüre er nach, forsche die alten Weiber, Soldaten und Bauern aus, die

---

[1]) Tanner p. 584 und Ehrle in Ztschr. f. kathol. Theol. 1889, p. 172ff.: Joh. Peckham über den Kampf d. August. und Aristotelismus in der 2. Hälfte des 13. Jahrh.

[2]) p. 15 Anm.

[3]) Tanner p. 436.

[4]) De trigonio circinoque; de speculis comburentibus libri V.; beide Werke sind handschriftlich erhalten. Näh. bei Tanner p. 436.

[5]) Op. III. cap. XII. Charles p. 16. Bridges: Op. mai. I. p. XXV.

[6]) Op. III. cap. XIIIff.

solches treiben und lege ihre Täuschungen und Kunstgriffe bloss. Dabei sei er ohne allen Ehrgeiz und liebe die Verborgenheit[1]).

In seinen späteren Jahren arbeitete Petrus, wie Baco weiter erzählt[2]), an der Herstellung eines Spiegels, welcher die Brennstelle in einer bestimmten Distanz haben sollte, ein Problem, das die Lateiner weder gelöst noch versucht hätten, obgleich über diesen Gegenstand Bücher existierten[3]).

Von diesem Petrus Peregrinus ist uns eine Schrift[4]) über den Magneten erhalten unter dem Titel: Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerium de Foncavcourt militem de Magnete. Sie enthält zwei Teile, wovon der erste in zehn kurzen Kapiteln die allgemeinen Eigenschaften des Magneten behandelt, der zweite in drei Kapiteln sich mit der praktischen Verwendbarkeit der magnetischen Kraft befasst, und zwar in dreifacher Weise:

1. Ein eiförmiger Magnet wird in zwei Holzschalen eingeschlossen und in ein Gefäss mit Wasser gelegt, wo er schwimmt und sich nach der Nordsüdrichtung einstellt. Diese Richtung wird am Rande des Gefässes bezeichnet, ebenso die senkrecht dazu stehende Ostwestrichtung und die entstehenden Quadranten je in 90^0 eingeteilt. Gibt man dem schwimmenden Magneten noch eine Regula, die man auf die Gestirne im Horizonte einstellt, so kann man deren Azímuth ablesen.

2. Ein kugelförmiger Magnet wird an den beiden Polen mit Stielen versehen, so dass er in das Gestelle einer Armilla[5]) eingesetzt werden kann, wo er die Stelle der Erdkugel vertreten soll. Ist die Einstellung nach dem Nordpol genau geschehen, so müsste sich, wie Petrus Peregrinus meint, eine Drehung des Globenmagneten ergeben und zwar nach der Ostwestrichtung, da nicht bloss Nord- und Süd-

[1]) Ob die Erforschung der Zauberkünste im Anschluss an arabische Quellen geschah, mag dahingestellt bleiben. Vgl. E. Wiedemann in Beiträgen V. Sitzber. d. phys.-med. Soz. Erlangen 1905, p. 388 ff.: über Zauberbüchlein von Gaubarî u. a.

[2]) Op. mai. I. 116; op. III. cap. XIII.

[3]) Baco meint wohl die Schrift Alhazens „über die Brennspiegel". Vgl. op. mai. I. 116. — Eine Schrift über denselben Gegenstand haben wir bereits von Joh. Londinensis erwähnt. Dass er auch an die Schriften des Anthemius und Diokles dachte, die in Enzyklopädien seiner Zeit erwähnt werden, ist nicht ausgeschlossen.

[4]) Die Schrift des Petr. Peregr. ist neugedruckt in: Neudrucke von Schr. und Karten über Meteorolog. und Erdmagnet. von Hellmann. Berlin 1893; eine alte Ausgabe exist. v. Ach. Gasser, Augsburg 1558.

[5]) Ein astronomisches durch Hipparch eingeführtes Instrument. Die Welt ist in Form einer Kugel drehbar in ein Gestell montiert. Ringe bilden Äquator und Meridian . . . Cf. op. maj. II. 203.

pol des Himmel, sondern auch Ost- und Westrichtung anziehend und abstossend wirken, wie wir an der Drehung des Himmelsgewölbes sehen. Wie sich also am Himmel zwei feste Punkte befinden, um die sich alles in 24 Stunden dreht, so müsse dies auch beim Globenmagneten möglich sein[1]). Hiermit wäre dann, wie er sagt, das nützlichste Instrument für die Astronomie geschaffen und jede Uhr wäre entbehrlich.

Von diesem Globenmagneten hat auch Baco Kenntnis[2]): „Wie bei Peregrinus soll er sich mit der täglichen Umdrehung des Luft- und Wolkenhimmels bewegen und zwar durch magnetische Kraft und nicht durch mechanische Beihilfe. Er würde sich dann mit dem Sternenhimmel drehen und so das Astrolabium[3]) und jede Uhr[4]) ersetzen. Selbstverständlich konnten derartige Probleme nicht realisiert werden. Aber selbst im 16. Jahrhundert noch hat Joh. Taisner im Ernste an die Möglichkeit dieses Apparates geglaubt, während Gilbert[5]), der sonst die Schrift des Magister Petrus für seine Zeit gediegen hält, diesen Dingen keinen Glauben beimisst.

---

[1]) Die Drehung des Globus (terrella) wird durch die Bewegung des Himmels verursacht angenommen. Wir können also weder von Peregrinus noch von Baco annehmen, dass sie bei der vermeintlichen Drehung der terrella an die Rotation der Erde gedacht haben. Schon Archimedes verfertigte einen hydraulisch bewegten Apparat zur Versinnbildlichung der kosmischen Bewegung. Günther: Bayr. Industrie- und Gewbl. l. c. p. 113.

[2]) Op. mai. II. 203 Appendix (Brewer) p. 537.

[3]) Nach Ptolemäus im 8. B. des Almagestes. Von Baco näher beschrieben op. mai. II. 202 und 225.

[4]) Als Uhren, Horoskope, nennt Baco Wasseruhren. Eine ähnliche Wasseruhr, wie Baco sie beschreibt, findet sich auch bei Vitruvius. Vgl. Günther, B. Ind. und Gew. Bl. l. c. p. 115. Solche waren besonders von Ktesibius konstruiert worden. Baco beschreibt sie op. mai. I. 231: „Einen Kessel mit Wasser lässt man durch ein Loch am Boden in der Weise auslaufen, dass der erste Tropfen austritt, wenn man die Sonne aufgehen sieht. Ist sie untergegangen, so schliesst man die Öffnung, misst das ausgelaufene Wasser, teilt es in 12 Teile, wobei auf einen Teil $15^{\circ} = 1^{h}$ trifft. Will man den Durchmesser der Sonne oder des Mondes messen, so lässt man das Wasser fliessen, wenn das Gestirn im Aufgehen begriffen ist; ist es vollends aufgegangen, so schliesst man. Das Verhältnis des nun ausgelaufenen Wassers zur Wassermenge des ganzen Tages ist gleich dem Verhältnis des Sonnendurchmessers zum ganzen Tagesbogen. Über Uhren vgl. E. Wiedemann, Beiträge III. (231 f., 255 f.). VI (11) Sitzb. d. phys.-med. Sozietät Erlangen 1905. Ebenso: Bibl. math. 1905 p. 162. Alfons X. (1126—1284) hat darauf aufmerksam gemacht, dass das Wasser bei der Uhr, die auch Baco erwähnt, in den versch. Stunden unregelmässig auslaufe.

[5]) Guil. Gilberti medici . . . de magnete Lond. MDC p. 5; 223 . . .

3. Die Konstruktion eines Perpeteum mobile. So viel die Zeichnung und Beschreibung dieses Apparates ersehen lässt, bestand er aus einem beweglichen Rade, das in ein Gehäuse aus zwei Schalen, eine als Boden und eine als Deckel eingebaut war. An diesem Rade waren nach innen zu schräg geschnittene, ungleichseitige Eisenklötzchen nach Art eines Zahnrades befestigt. Mitten durch die Schale ging eine feststehende Achse, um welche sich das Rad drehen sollte. An der Achse war ein Stiel mit einem Magneten befestigt und zwar so mit seinen Polen gegen die Zähne des Rades gerichtet, dass, wenn der eine Pol den dickeren Teil des schrägen Klötzchens angezogen hat, die Bewegung des Rades diesen Teil sofort dem entgegengesetzten Pole näher bringen sollte. Hat also z. B. der Südpol des Magneten den dickeren Teil des Zahnes angezogen und auf ihm einen Nordpol erzeugt, so kommt dieser Nordpol durch die Bewegung des Rades dem Nordpol des Magneten näher und wird abgestossen. Ein Metallknopf, der bei der Bewegung immer in die Zahnlücken fällt, soll die Drehung fördern. Auf diese Weise glaubte Petrus eine fortwährende Bewegung bewirken zu können, was natürlich nie gelang.

Im 16. Jahrhundert kam Antonius de Fantis Taruisinus wieder auf diese Idee zurück, demgegenüber Cardanus die Unmöglichkeit des Problems darzutun sucht. Auch der schon genannte Taisner hat den Versuch wieder aufgenommen[1]). Erst spät hat man überhaupt eingesehen, dass auch durch magnetische und elektrische Kräfte sich kein perpeteum mobile herstellen lasse.

3. Kapitel.

Bacos wissenschaftlicher Standpunkt.

Welche Stellung Roger Baco gegenüber den verschiedenen philosophischen Richtungen der Scholastik[2]) einnahm, soll uns hier nicht

[1]) Enthalten in der Ausgabe des Petr. Peregr. von Gasser 1858.

[2]) Näheres Ehrle im Archiv für Literat.- und Kirchengeschichte 5 Bd. 1889, p. 603 ff. Die Stellung, die Baco im sog. Universalienstreite einnimmt, zeigt ein geistreiches Gemisch von Realismus, der mit Aristoteles die Allgemeinbegriffe für das Wesen der Dinge hielt und Nominalismus, wonach mit Plato die Ideen und Gattungen blosse Namen sind, ohne dass er deshalb der vermittelnden Ansicht des Konzeptualismus beigepflichtet hätte. Vgl. Charles 239; 383 ff. Im gewissem Sinne vertritt Baco wohl eine neuplatonisierende Richtung, die uns auch bei manchen Arabern wie z. B. bei Al Fârâbî begegnet. Vgl. Dicterici; Phil. Abh. Leiden 1890, p. XIX.

beschäftigen. Wir wollen nur einzelne Momente angeben, aus denen wir seinen naturwissenschaftlichen Standpunkt und seine Stellung zur Wissenschaft seiner Zeit überhaupt ersehen mögen.

Baco war Franziskaner und im Augustinismus zu Oxford und Paris gebildet, was in seinen Schriften auch allenthalben zum Ausdruck kommt. Augustinus gilt ihm für die Erforschung verborgener Wahrheiten als ganz besonders brauchbar; auch für die Astronomie, die Perspektive, die Musik und die Sprachen leistet er ihm Dienste[1]). Neben Augustinus geniesst aber nicht minder Aristoteles das grösste Ansehen. Dessen Schriften hat er wohl schon bei Grosseteste vielfach kennen gelernt und in Paris die wichtigsten Kommentare studiert[2]). Er gilt ihm als „Fürst der Philosophie und besonders in naturwissenschaftlichen Fragen allen anderen überlegen".

Hinsichtlich der verschiedenen philosophischen Richtungen nimmt Baco nicht gegen die eine oder andere Stellung, sondern wendet sich vielmehr gegen die gesamten Anschauungen seiner Zeit in Wissenschaft und Methode. Dabei verschont er weder seine eigenen Ordensgenossen wie Alexander von Hales noch die Dominikaner Albertus und Thomas[3]).

Vor allem sind es vier Grundfehler gegen den Fortschritt in den Wissenschaften, die Baco seinen Zeitgenossen vor Augen hält[4]); „das Schwören auf eine unwürdige und hinfällige Autorität, die Macht der Gewohnheit, die Denkweise der gewöhnlichen grossen Masse und die Blindheit gegen die eigene Unwissenheit verbunden mit Prahlerei mit der eigenen Weisheit. Das sind Fehler, die wie eine tödliche Pest die wertvollsten und schönsten Dokumente zerstören und alle Geheimnisse der Wissenschaften und Künste übersehen lassen.

Was z. B. die Autoren betrifft[5]), so besteht kein Zweifel, dass man die Alten ehren und denen dankbar sein müsse, die uns die Wege gebahnt haben; aber man dürfe nicht vergessen, dass sie Menschen waren wie wir und darum auch dem Irrtum unterworfen. Ja, sie haben im allgemeinen um so mehr Fehler begangen, je älter sie sind; denn die heutigen Geschlechter müssen weiter sein als die früheren, weil sie Erben der ganzen Vergangenheit sind. Das Wissen der Autoren ist an ihre Zeit gebunden; sie haben Fehler

[1]) Op. mai. I, 15, 78, 177, 178, 180, II. 50 und a. a. O. Für physikalische Wahrheiten ist aber Augustin gewiss eine sehr dürftige Quelle.

[2]) Vgl. hierzu II. Abschn. unserer Abh. „Aristoteles".

[3]) „Alex. v. Hales versteht nichts von der Physik." Über Thomas vgl. op. III. cap. IX.

[4]) Op. mai. I. Tract.: causae erroris. Ähnliches im Comp. stud. phil. cap. I.

[5]) Charles mit Beruf. auf Comp. theol. und phil.

gemacht wie andere und dies selbst zugestanden." „Ich achte den Aristoteles", sagt er an einer anderen Stelle[1]), „und halte ihn für den Fürsten des Philosophen, aber ich folge nicht immer seiner Meinung und entferne mich oft von ihm. Aristoteles und die anderen haben den Baum der Wissenschaft gepflanzt, aber der hat noch lange nicht alle Zweige getrieben, noch lange nicht alle seine Früchte gebracht"[2]).

Baco will indes nicht bloss die Wunden seiner Zeit aufdecken und daran Kritik üben, sondern gibt auch die Mittel an, die eine Besserung der Verhältnisse herbeiführen können. Und eben hierin zeigt er seinen scharfen Geist, indem er gerade diejenigen Wege wies, welche die Wissenschaft in den nachfolgenden Jahrhunderten einschlug in der Pflege der Sprachwissenschaft und der Experimentalphysik. Baco will der gesamten Wissenschaft eine philologische und experimentalwissenschaftliche Grundlage geben. Betrachten wir kurz seine philologischen Bestrebungen! Sie sind auch für die Naturwissenschaft seiner Zeit von Bedeutung, welche grösstenteils auf den Schultern der Alten und Araber ruhte.

Im Gegensatze zu seinen Zeitgenossen, welche die Sprachwissenschaft meist nicht besonders pflegten, schätzte sie Baco sehr hoch und hielt sie überhaupt für eine Fundamentalwissenschaft, die an den Hochschulen als Grundlage für alle anderen Wissenschaften gepflegt werden solle. Dabei hatte er es, wie wir aus dem Traktate „über die Kenntnis der Sprachen" ersehen,[3]) hauptsächlich auf die vergleichenden Sprachstudien abgesehen, wodurch, wie er sagt, eine Menge von Irrtümern vermieden würde. Er selbst war neben dem Latein auch noch mit dem Hebräischen und Griechischen ziemlich vertraut, wofür er im genannten Traktate Proben bringt. Für seine Kenntnisse im Griechischen spricht vor allem auch seine griechische Grammatik, von der handschriftlich noch einige Bruchstücke existieren[4]). Übrigens hat es den Anschein, als wäre sie nur ein Teil einer Sprachencyklopädie aus Latein, Griechisch, Chaldäisch, Hebräisch und Arabisch[5]), eine Idee, die wohl auf seinen Lehrer Grosseteste zurückgeht. Wie weit seine Kenntnisse im Arabischen gingen, lässt sich nicht ersehen. Indes legt der

---

[1]) Op. mai. I. 55.

[2]) Näheres bei Charles p. 103 u. s. w.

[3]) Im op. mai Näheres befindet sich bes. im comp. studii, auch im op. III. cap. 25 ff. u. op. minus.

[4]) Im Corpus Christi College zu Oxford.

[5]) Wie sich aus seiner Einleitung zur griech. Grammatik ergibt. Cf. Bridges op. mai. I. p. XLIX.

Ton, mit dem die Erlernung dieser Sprache immer wieder empfohlen wird, die Vermutung nahe, dass er selbst manche Kenntnisse dieses schwierigen Idioms besass, so dass er imstande war, Übersetzungen mit dem Originale zu vergleichen, wie aus dem opus maius[1]) hervorgeht, wo es heisst: „Die Schriften des Aristoteles sind so schlecht übersetzt, dass man sie gar nicht verstehen kann. Einer widerspricht dem anderen und vielfach sind die Fehler, wie man sieht, wenn man die verschiedenen Erklärungen mit dem Texte aus den verschiedenen Sprachen vergleicht." Die Übersetzungen sind aber zumeist aus dem Arabischen geflossen. Dafür, dass Baco selbst in Spanien gewesen sei und die Schulen der Araber besucht habe, dürften sich aus den bisher bekannten Schriften keine Anhaltspunkte finden lassen[2]). Studierende aus Spanien kann er an der Pariser Universität kennen gelernt haben.

Gehen wir nun zu Bacos Anschauungen über Experimentalphysik.

Schon Gerbert[3]) hatte als Gegengewicht zu den Ausartungen der Dialektik das Studium der Natur empfohlen. Seine Worte blieben ungehört. Baco wiederholte diese Forderung noch viel nachdrücklicher. Was uns dabei den Autor so ausserordentlich sympathisch macht, ist das klare und volle Bewusstsein, dass wir nur durch die eigene Forschung und durch das Experiment zur Wahrheit gelangen können. Diese Ansicht spricht er nicht wie Aristoteles und Albertus Magnus in allgemeinen Sätzen oder Bemerkungen aus, sondern begründet dafür eine eigene Wissenschaft, die er „Experimentalwissenschaft (scientia experimentalis) nennt. Diese Bezeichnung tritt in seinen Werken zum erstenmal auf und verschwindet von da ab nicht mehr. Wir können also sagen, dass Roger Baco mit Bewusstsein die Physik als eine Experimentalwissenschaft erkannte, während Baco von Verulam die induktive Methode philosophisch begründete.

Was Roger Baco unter der Experimentalwissenschaft versteht, ersehen wir aus seinen näheren Ausführungen im opus maius[4]).

Es gibt, schreibt er da, zwei Erkenntniswege, das Argument und das Experiment. Das erstere zieht Vernunftschlüsse und veranlasst den Konklusionen beizupflichten, gibt aber keine Sicherheit und entfernt den Zweifel nicht so weit, dass der Geist in der Anschauung der Wahrheit befriedigt wäre. Dies ist nur der Fall, wenn die Wahrheit durch die Erfahrung be-

[1]) I. Bd. 68. op. III 88.

[2]) Vgl. Wüstenfeld Abh. d. G. G. p. 9; Charles p. 23 Anm.

[3]) Windelland, Gesch. d. Philos. 1900 p. 247.

[4]) II. Bd. 167 ff.

stätigt ist. So muss also die Naturwissenschaft auf der Erfahrung beruhen; ohne sie kann man nichts sicher wissen. Unter den Theologen und Philosophen ist beispielsweise die Ansicht verbreitet, dass der Diamant nur im Bocksblute gebrochen werden könne. Aber nirgends besteht darüber eine Erfahrungstatsache, denn er kann auch ohne solchen Blutes gebrochen werden, wie ich selbst mit eigenen Augen gesehen habe[1]).

Zur Lösung physikalischer Probleme hält Baco sodann die Mathematik erforderlich und ist hiermit mit Bewusstsein auch der Begründer einer mathematischen Physik, da wir aus den zahlreichen Beispielen, in welchen die Araber und Alten die Mathematik benutzten, nicht ersehen, dass sie diese Wissenschaft als ein wesentliches Mittel zur Lösung physikalischer Fragen betrachteten. Roger Baco nähert sich hiebei entschieden den Physikern des 17. und 18. Jahrhunderts und übertrifft seinen Namensvetter Baco von Verulam, der die Mathematik unterschätzte und sie nur nebenher bei physikalischen Fragen gelten lassen wollte[2]). Dem Nutzen der Mathematik für die Physik widmet unser Autor im opus maius einen eigenen Traktat und gibt darin auch nähere Erklärungen. Nachdem er eingehend gezeigt hat, wie mathematisches Denken für alle Wissenschaften notwendig ist, sagt er in Anwendung auf die Naturwissenschaften:

Es ist unmöglich ohne Mathematik zu einer richtigen Erkenntnis über die Dinge der Welt zu gelangen. Von der Astronomie ist dies an sich klar. Zahl und Grösse der Gestirne, ihre Form, Entfernung und Bewegung unterliegen mathematischen Gesetzen, die wir in Tafeln und Kanons niederlegen. Aber auch die Vorgänge hier auf Erden bedürfen zu ihrer Erforschung dieser Wissenschaft Denn jedes Ding wirkt durch die Kräfte, die in ihm liegen und diese nach Linien, Winkeln und Figuren[3]).

Die näheren Ausführungen befassen sich dann mit der Erklärung der Reflexion, Refraktion und mit der Fortpflanzung der wirkenden Spezies, wovon im III. Abschnitt eingehender die Rede sein wird.

Als Gesamtresultat für seine Anschauungen weist schliesslich Baco auf die drei grossen Vorzüge seiner Experimentalwissenschaft hin, nämlich:

---

[1]) Vgl. Ruska: Das Steinbuch aus der Kosmographie des Al-Ḳazwîni . . . „Ein anderer sagt: Schlägt man den Diamant auf dem Amboss mit dem Hammer, so dringt er entweder in den Hammer oder in den Amboss ein. Schlägt man ihn mit Schwarzblei, so zerbricht er sofort und wirft man ihn in Bocksblut und bringt ihn ins Feuer, so schmilzt er."

[2]) Vgl. Überweg-Heinze (1901) II 72 f.; Erdmann: Grundriss d. Philos. (1895) I. 621; Kuno Fischer: Gesch. d. neueren Philos. X. Bd. Franc. Bacon p. 232.

[3]) Vgl. Opus mai. I. 109 „Auf math. Wege kann alles bewiesen werden, was in den Naturwissenschaften notwendig ist."

1. Bestätigt sie die Resultate, die aus anderen Wissenschaften bereits gewonnen sind, vor allem die aus der Mathematik.

2. Dringt sie bis auf den Grund und die Grenzen der Wissenschaft und sucht dort die herrlichen Wahrheiten, die sonst durch keine Mittel zu erreichen sind.

3. Betrachtet sie ihre Ergebnisse nicht bloss in Hinsicht auf andere Wissenschaften, sondern genügt sich selbst und bezieht sich auf vergangene, gegenwärtige und zukünftige Dinge und auf die Beobachtung von herrlichen Naturgesetzen und darum ist sie die erste und die Königin aller Wissenschaften.

An der Erklärung des Regenbogens wird sodann gezeigt, wie diese Wissenschaft zu Werke geht; doch davon erst im III. Abschnitte.

Dass Baco nicht durchwegs seine Methode zur Anwendung brachte, sondern sich immer noch auf die Autoren beruft, kann nicht verwundern bei einem Manne des Mittelalters, wo der Autoritätsglaube so ausgeprägt war. Übrigens hatte ja diese Methode bei dem Mangel an praktischen Hilfsmitteln einen sehr beschränkten Spielraum, was für Baco bei seiner Armut und seinen Lebensschicksalen doppelt in die Wagschale fällt. Auch hat Baco die Autoren nicht schlechthin benützt, sondern sie oft einer scharfen Kritik unterzogen.

Wenn er über manche Dinge ganz ausserordentlich phantastische Erklärungen gibt, so liegt auch dies im Geiste seiner Zeit.

Endlich kann uns auch seine Beschäftigung mit den Wunderdingen der Astrologie u. dergl. nicht überraschen, schwebte ihm dabei doch, wie er selbst gesteht, der Gedanke vor, dass all den physisch-wunderbaren Dingen Naturgesetze zugrunde liegen.

4. Kapitel.

Schriften Roger Bacos.

Trotz der vielen und grossen Hindernisse, welche der Tätigkeit unseres Scholastikers im Wege standen, hat er doch die Literatur seiner Zeit wesentlich bereichert. Wie gross die Zahl seiner Schriften eigentlich ist, lässt sich schwer angeben, da ein und dieselbe Arbeit oft unter verschiedenen Titeln und mit anderen Abhandlungen vereinigt erscheint, und der Autor selbst die Gepflogenheit hatte ein und dieselbe Schrift mehrmals und in immer wieder verbesserter Form zu geben, bis sie ihm entsprach[1]). So kommt es, dass man von einer ungeheueren Anzahl von Werken Bacos lesen kann[2]).

[1]) Bridges: op. mai. I. p. [XX*].

[2]) Z. B. Tanner p. 63.

Nach dem Tode des Verfassers kamen seine Schriften zunächst in die Konventsbibliothek. Erst nachdem der Orden im 14. Jahrhundert seine wissenschaftliche Bedeutung verloren hatte, scheinen sie durch Verkauf oder Diebstahl in die verschiedensten Bibliotheken gewandert zu sein, wenigstens fand Leland, als er bei Aufhebung der Klöster durch Heinrich VIII. ihre Bücherschätze durchforschte und 1535 auch nach Oxford kam, nichts mehr von ihnen vor[1]).

Wo sich die erhaltenen Manuskripte gegenwärtig befinden, haben Charles und Brewer zusammengestellt[2]).

Im Drucke sind folgende Schriften erschienen:

I. Das Opus maius.

Bis gegen Ende des letzten Jahrhunderts existierte hiervon nur die Ausgabe von Jebb Samuel[3]), die jedoch nach manchen Richtungen mangelhaft war. Deshalb hat Bridges auf Grund umfassender textkritischer Studien eine neue Ausgabe besorgt. Sie trägt den Titel: The opus majus of Roger Bacon, edited with Introduction and Analytical Table by John Henry Bridges in two Volumes, Oxford 1897. Hierzu erschien 1900 noch ein Supplementsband mit revidiertem Text der drei ersten Abschnitte des Opus maius, Korrektionstabelle und Erläuterungsnoten. Nach der Ausgabe von Bridges umfasst das Opus maius jetzt folgende Abschnitte:

I. Band.

1. Ursachen des Irrtums	Seite	1—32.
2. Nahe Beziehungen zwischen Theologie und Philosophie	„	33—65.
3. Sprachenkenntnis	„	66—96.
4. Bedeutung der Mathematik für die Wissenschaften und für alle Vorgänge auf dieser Welt.		
a) Nutzen der Mathematik für die Physik[4])	„	97—174.
b) Nutzen der Mathematik für die Theologie	„	175—238.
c) Urteile der Astronomie	„	239—270.
d) Kalenderverbesserung	„	271—285.
e) Geographie	„	286—375.
f) Astrologie	„	376—403.

---

[1]) Tübinger Univ. Schr. l. c. p. 19f. Tanner l. c.

[2]) Charles p. 54ff. Brewer; Opera hact. ined. Vorrede.

[3]) Publ. London 1733 und wiederum Venedig 1750.

[4]) Bereits 1614 in Frankfurt von Combach publiziert unter dem Titel ‚Specula mathematica'.

II. Band.

5. Wissenschaft der Perspektive (Optik)[1] . . . . . Seite 1—166.
6. Experimentalwissenschaft . . . . . „ 167—222.
7. Moralphilosophie . . . . . „ 223—404.

Anhang.

Traktat über die Fortpflanzung der Strahlen[2]) (Spezies).

II. Das Opus minus.

Dieses Werk sollte zur Ergänzung und Erklärung des opus maius dienen und behandelt spekulative und praktische Alchemie[3]), Astronomie und erörtert Fragen über das Studium der Theologie. Es war wie das opus maius dem Papste gewidmet[4]).

III. Das Opus tertium

besteht hauptsächlich aus Aphorismen aus dem opus maius, um dem Papste das Lesen des grossen Werkes zu ersparen[5]).

IV. Weitere Schriften.

1. Compendium Studii Philosophiae[6]).

2. Epistel über die geheimen Werke der Kunst und der Natur und über die Nichtigkeit der Magie[7]).

V. Tractatus de Speculis,

eine Schrift, die sich ausführlicher über sphärische und parabolische Brennspiegel und über Abweichen der Strahlen vom geraden Gang beim Passieren einer kleinen Öffnung verbreitet[8]).

---

[1]) Ebenfalls von Combach l. c. herausgegeben.

[2]) Auch diese Schrift sandte er an den Papst.

[3]) Hiervon sind von 1541—1702 mehrere Druckausgaben erschienen unter dem Titel: Speculum Alchimiae; desgleichen auch Übersetzungen; Charles p. 56. Ein thesaurus chemicus wurde 1603 und 1620 gedruckt. Charles 58. Hierher gehören auch die Schriften ‚de naturis metallorum et ipsorum transmutatione' oder auch Breve breviarium oder brevilogium alchimiae. Charles p. 71.

[4]) Das Op. minus exist. in der Ausgabe von Brewer unter anderen Schriften: Fr. Rog. Baconis opera quaedam hactenus inedita, London 1859. Nach dem Texte zu schliessen ist ein grösserer Teil des op. minus verloren gegangen.

[5]) Wir haben im op. III. wohl die vollendetste Schrift Bacos. Sie findet sich in der soeben genannten Sammlung von Brewer.

[6]) Führt auch die Bezeichnung ‚liber scientiarum'. Näh. Charles 59; 408 Anm. 2.

[7]) Auch schon 1542 von Oronce Finée zu Paris publiz. und übersetzt. Charles 56. — Die zwei Schriften ‚Compendium Studii philosophiae' und Epistola de secretis operibus artis et naturae sind ebenfalls in die Sammlung von Brewer aufgenommen.

[8]) Wurde mit den 2 Abschnitten des opus maius: Perspectiva und Specula mathematica von Combach herausgegeben, Frankfurt 1614.

VI. Libellus Rogeri Baconis.

Angli, doctissimi mathematici et medici de retardandis senectutis accidentibus et de sensibus conservandis[1]). (Über das Greisenalter und die Erhaltung der Sinne).

Ungedruckte Werke Bacos.

I. Computus naturalium

ist astronomischen, chronologischen und meteorologischen Inhalts. Baco sandte das Werk mit dem opus maius, minus und tertium an Papst Clemens IV. Inhaltlich gehören dazu auch die Traktate: De termino paschali und de temporibus a Christo[2]).

II. Communia naturalium.

Dieses Werk umfasst 90 Folioseiten und ist nur handschriftlich vorhanden[3]). Nach dem 1. Kapitel war es grossartig angelegt, vor 1267 begonnen und in 4 Bücher eingeteilt, nämlich I. Grammatik und Logik, II. Mathematik, III. Physik, IV. Metaphysik und Moral.

Daraus schliesst Bridges, dass es von Baco als Hauptwerk geplant war, wozu opus maius und minus nur eine Art von Vorarbeiten waren. Verfolgung und Gefangenschaft hätten ihn an der Ausführung gehindert. Einzelne Stellen im opus maius und tertium, wo die Bezeichnung „scriptum principale" gebraucht wird, sollen diese Ansicht bestätigen[4]).

Was den Inhalt dieser Communia naturalium betrifft, so ist also darin dieselbe Ordnung wie beim opus maius eingehalten, nämlich:

1. Die Sprache, als Kanal, durch welchen man zu allen Wissenschaften vordringt. (Trivium!)

Als Einleitung hierzu denkt sich Bridges das schon genannte Compendium Studii Philosophiae, das allerdings erst ca. 1271 vollendet

---

[1]) Eine sehr seltene Schrift, die nur noch in England existiert. Die Imp. Bibliothek besitzt hiervon auch eine englische Übersetzung von Rich. Brown. London 1683. Vgl. Charles p. 57 f. Der lat. Text wurde zu Oxford 1590 gedruckt.

[2]) Der Computus stammt aus der Zeit des Aufenthaltes in Paris als Franziskanermönch. Die K. Bibliothek zu London besitzt das Werk handschriftlich in komplettem Zustande. Ein Fragment hiervon ist im Colleg d. Univ. zu Oxf. und in der K. Bibl. zu London. Die Traktate de termino paschali und de temporibus a Christo sind vielleicht noch vor 1262 entstanden. Charles p. 70, 76, 91, 336 ff.

[3]) Ms. d. Mazarine Bibl.; ebenso im Brit. Mus., in der K. Bibl.; Bodl., im Kolleg d. Univ. zu Oxf. Näh. Charles p. 368 ff.

[4]) Vgl. op. mai. I. 305, 322, 325, 376; II. 159, 201, op. III. cap. 1. Bridges in op. mai. I. p. XLIII—VIII; II. 408 Anm.

wurde. Hierher gehörte ferner die schon erwähnte griechische Elementargrammatik oder besser die geplante Sprachenencyklopädie und einige Abschnitte im opus maius und tertium.

2. Die Mathematik, welche die Wissenschaften des Quadriviums umfasst. Hierher gehörten die Communia mathematicae[1]), ein grosses Werk in 6 Büchern, von denen in den Sloane Ms. der grösste Teil des 1. Buches erhalten ist[2]).

3. Die Physik. Im zweiten Kapitel der Comm. Naturalium werden 8 physikalische Wissenschaften unterschieden: Allgemeine Prinzipien der Naturphilosophie; Perspektive (Optik); Astronomie: Barologie (Gewichtskunde); Alchemie (alchemia speculativa, die sich mit den chem. Transformationen befasst); Agrikultur; Medizin; Experimentalwissenschaft. — Von den hierher gehörigen Abhandlungen enthalten das op. mai. und minus die Perspektive und den Traktat über die Fortpflanzung der Strahlen, den Abschnitt über die Bewegung der Wage, über Astronomie, Alchemie, die Experimentalwissenschaft; die Ausgabe von Brewer die Schrift über die geheimen Werke der Natur. Zur Medizin gehört die schon genannte Schrift über das Greisenalter und die Erhaltung der Sinne.

4. Metaphysik und Moral. Zu dieser gehörte die Moralphilosophie, die Bridges in das opus mai. aufgenommen hat. Sie ist die praktische Wissenschaft für das Leben.

---

[1]) Näheres bei Charles p. 264ff.

[2]) Von drei Abschnitten ist der erste und grösste Teil des zweiten erhalten. Der erste Abschnitt des genannten 1. Buches enthält fünf Kapitel: 1. Bez. d. Math. zur Metaph. — Untersch. zw. Math. und Zauberei. — Hindernisse für die Math. (4 causae erroris). — Nutzen d. Math., Einfluss auf die Logik und Grammatik. — Grundlage für die Musik, Poetik und Rhetorik. 2. Über Zeit, Raum u. dgl. 3. Spekulative und prakt. Geometrie und Arithmetik. — Prakt. Geometrie: Agrikultur, Anfertig. astron. Instr., opt. Apparate, Instrum. zum Wägen, Apparate f. d. Experimentalwissensch., Werkz. für Medizin und Chirurgie. — Prakt. Arithm.: Abakus, Algebra (quae est negotiatio), Al mukabala (quae est census), Anfert. astron. Tafeln, Handelskunde (nach dem Muster des Leonh. von Pisa). — Beweg. der Planeten, Geographie, Gestalt der Erde, Wahrsagerei. 4. Musik: Vokal- und Instrumentalmusik mit der Wirkung auf Leib und Gemüt, Mensch und Tier. 5. Philosophische Fragen über Logik und Metaphysik. Der zweite Abschn. beginnt mit dem Studium der ganzen Zahlen und Brüche; daran reihen sich arithm. und geometr. Fragen. Damit schliesst die Hdschr. der Sloane Biblioth. Die Fortsetzung in einem Fragmente der Bodleiana bezieht sich auf geometrische Probleme im Anschluss an Apollonius und Euklid. Dabei ist auch von den Kegeln und Kegelschnitten die Rede.

III. Compendium studii Theologiae

aus dem Jahre 1292[1]). Das Werk umfasst 6 Abschnitte: 1. Ursachen des Irrtums. 2. Logik und Grammatik. 3. und 4. ohne Bezeichnung. 5. Optik und multiplicatio imaginum. 6. Ohne nähere Bestimmung.

Aus diesem letzten Werke Bacos ersehen wir, dass er der Hauptsache nach den Plan des Hauptwerkes wieder aufgenommen hat.

Überschauen wir jetzt die ganze literarische Tätigkeit unseres Scholastikers, so möchten wir leicht seine Leistungen überschätzen. Sie sind gross, das werden wir nicht bestreiten können. Jedoch dürfen wir nicht übersehen, dass der Inhalt seiner Werke sich wie erwähnt, nur zu oft wiederholt, ja dass selbst ein und dieselbe Abhandlung in verschiedenen Werken wiederkehrt.

II. Abschnitt.

Quellen Roger Bacos für seine Physik.

Von den Werken, die Baco für seine Physik benützte, kommen in Betracht: 1. griechische, 2. lateinische, 3. arabische Autoren.

1. Kapitel.

Griechische Autoren.

Aristoteles.

Von ihm finden sich so ziemlich alle physikalischen Schriften bei Baco verwertet, nämlich: die 8 Bücher der Physik[2]), die 4 Bücher

---

[1]) Als Ms. in d. K. Bibl. zu London und im Koll. d. Univ. zu Oxford.

[2]) Baco kannte sie teilweise aus Übertragungen, die durch das Arabische und Syrische gegangen waren und teilweise auch schon aus Übersetzungen nach dem Originaltexte. In op. mai. I. 55 wird erwähnt, dass seit 1230 einige Teile der Physik in der Übersetzung des Mich. Scotus bekannt waren. (Scotus übertrug nach Averroes.) In op. mai. II. 120 und 179 wird eine nova translatio genannt, womit wohl die des Wilh. von Mörbecke gemeint ist. (Die vetus translatio war die des Gerh. v. Cremona aus dem Arabischen.) Als Übersetzer bezeichnet Baco: Gerh. v. Cremona, Aluredus Anglicus, Hermannus Alemannus. Die Übersetzungen des Wilh. von Mörbecke tadelt Baco, jedoch mit Unrecht. Vgl. E. Wiedem. in Ann d. Phys. (39) 1900 p. 126 Anm.

de Coelo (et Mundo), die Meteorologica, de Generatione et Corruptione, de Anima, de Sensu et Sensato, de Somno et Vigilia, de Vita et Morte, de Animalibus[1]), de Partibus Animalium. Von den pseudoaristotelischen Schriften kennt Baco: De Vegetabilibus = de Plantis[2]), de Lapidibus[3]) de Proprietatibus[4]) Secretum Secretorum[5]), und die Problemata (mech.)[6])

Euklid (ca. 300 v. Chr.)[7]).

Baco kennt: 1. Die sog. „Elemente", ein Lehrbuch der Geometrie in 13 Büchern, das in den Schulen des Quadriviums ausschliesslich in Gebrauch war. 2. Die Optik, worin geradliniger

---

[1]) Das 19. Buch de Animalibus scheint das 5. Buch de Generatione und das 12. de Animal. das 2. de Partibus zu sein. Bridges op. mai. II. 55 Anm.

[2]) Op. mai. I. 380. de secret. operib. . . . 529. Aristoteles schrieb über die Pflanzen; das unter diesem Titel erhaltene ist aber unecht. Herm. Alemannus übersetzte die Schrift aus dem Arabischen. Vgl. Wüstenfeld: Abh. p. 91. Heitz: Die verlor. Schriften d. Arist. p. 56.

[3]) De secret operib. . . . p. 543. Diese Schrift gehört offenbar einer späteren Zeit an. Auch Theophrast schrieb ein Buch über die Steine (Heitz a. a. O. p. 69 f.). Über die mannigfachen Lapidarien des Mittelalters wie von Arnoldus Saxo, Alb. Magnus u. s. w. gibt Aufschlüsse Rose: Aristoteles und Arnoldus Saxo de lapidibus. Ztschr. f. deutsche Altert. Kunde 18 (1874/75) p. 321 ff. Wenrich: De auctorum Graecorum versionibus . . . p. 159 identifiziert die Schrift de lapidibus mit liber de mineralibus = liber de lapidibus metallisque = Repetition des opus septisegmentatum (nämlich secretum secretorum). Nach Steinschneider: Zur pseudoepigraph. Lit. d. Mittelalt. . . . p. 83 findet sich secretum secretorum auch überschrieben mit de proprietatibus originalium et lapidum. Darunter der Hinweis auf die Schrift de plantis et lapidibus und deren Eigenschaften (de proprietatibus). Es scheinen also die Schriften de plantis, de lapidibus, de proprietatibus, seretum secretorum in Beziehung zu einander zu stehen und auch mehrfach mitsammen behandelt worden zu sein.

[4]) Op. min. (Brewer) p. 384. Auch dieser Titel findet sich häufig. Vgl. Bibl. math. 1905 p. 137 „Abolays: de la propriedad, de la piedras". Rose a. a. O. p. 337 de proprietatibus rerum v. Barthol. Anglicus u. s. f. Vgl. damit das im Anm. 2 Gesagte.

[5]) An Alexander gerichtet. Bei Baco sehr häufig zitiert. Apogryph. Aus d. Arab. übers. von einem gewissen Philipp. Vgl. Bridges: op. mai. I. 10.

[6]) Op. mai. II. 56. Nur einzelne Bestandteile mögen echt sein. Vgl. Heitz a. a. O. p. 103 und 111. Näherer Aufschl. in den Abh. d. Münch. Akad. B. VI. 2. S. 341 ff. (Prantl).

[7]) Euklids Werke hat J. L. Heiberg neu herausgegeben. Leipzig 1882—1895.

Fortgang der Strahlen, Sehvorgang durch Strahlenkegel, die aus dem Auge ausgehen, und die Reflexion bei Planspiegeln erörtert wird[1]). 3. Ein Buch „über die Spiegel", das für idendisch mit der Katoptrik[2]) gehalten wird. Das griech. Original dieser Katoptrik ist unvollständig und enthält nur 31 Sätze; wobei auch noch kurz von dem sphärischen Brennspiegel die Rede ist. Baco kannte noch eine vollständigere Ausgabe. Von den übrigen[3]) dem Euklid zugeschriebenen Werken findet sich bei Baco keine Erwähnung.

Ptolemäus Claudius (ca. 120 v. Chr.),

ist für Bacos Physik durch folgende Schriften von Bedeutung: 1. Durch seine Optik[4]), das wissenschaftlichste und wichtigste Buch über diesen Gegenstand aus dem griechischen Altertum. 2. Durch den Alma-

[1]) Näheres bei Wilde: Gesch. d. Opt. p. 13ff. Das zu Beginn der Perspektiva von Combach genannte Buch ‚de Visu' (od. de visibus nach einer Hdschr. der Ampl. Bibl. zu Erfurt Nr. 9, 47—52) scheint ein Abriss der Optik des Euklid zu sein. Einen Kommentar schrieb Theon (2. Jahrh.).

[2]) Die Katoptrik wahrscheinlich nicht von Euklid. Vgl. Heiberg: lit. gesch. Stud. über Eukl. (1882) p. 148ff. Vielleicht von Theon oder eine Kompilation aus alten Quellen. Baco kannte noch eine Ausgabe mit 33 Sätzen, wovon die letzteren von den parab. Hohlspiegeln handelten. op. mai. II. 491.

[3]) Vgl. Bibl. math. 1900. 3. F. 1. Bd. p. 51 (Curtze); Ztschr. d. Math. (19) p. 262. Suter: Ztschr. p. 16; Suter: Abh. 151; P. Duhem: Les origines de la Statique. Paris 1905. p. 62ff.

[4]) Leider ist das erste Buch nicht erhalten. Nach dem Anfange des zweiten zu schliessen, befasste es sich mit der Theorie des Sehens. Die übrigen 4 Bücher handeln von den Bedingungen zum Sehen, Doppelsehen, Täuschungen — Spiegelung in ebenen und gekrümmten Spiegeln — Refraktion mit dem Apparat zur Messung des Ablenkungswinkels bei der Brechung der Strahlen in Luft, Wasser und Glas. Hierbei ist zu bemerken, dass der Ablenkungswinkel nicht der Brechungswinkel ist, sondern der von dem verlängerten einfallenden und gebrochenen Strahl gebildete Winkel. Nach E. Wiedemann: Bemerk. zu Baarmann, Ztschr. d. d. M. Gesellsch. Bd. 38. 1884 — Die Opt. d. Ptol. war lange Zeit nur aus mittelalt. Zitaten bekannt und wurde erst in neuerer Zeit in lat. Handschr. wieder aufgefunden und zwar in der Übers. des Ammeratus Eugenius Siculus. Neu herausgegeb. v. Gilb. Govi, Turin 1885. (Diese Ausgabe äusserst mangelhaft. Björnbo, Bibl. math. 1903; 327.) Zu Ptol. vgl. Martin in Bullet. Boncomp. 1871 p. 466ff. und Boll über Ptol. in d. Jahrb. d class Philologie 21. Suppl. 49—244. Auf der Opt. des Ptol. ruht die Opt. Alhazens. Eine Schrift ‚de Speculis', die dem Ptolemäus zugeschrieben wurde, gehört wohl dem Heron v. Alex. zu. Sie enthält auch Winke über Anfertigung von Vervielfältigungs-, Neck- und Zauberspiegeln. Übers. wahrsch. von Wilh. von Moerbecke 1269. Herausgegeb. von Rose: Anecdota graeca et graecolat., II. 317 ff.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

gest, das bekannte astronomische Werk, worin das nach Ptolemäus benannte Planetensystem entwickelt wird. 3. Durch das Centilogium und Quadripartitum, zwei weitere Schriften astronomischen und astrologischen Inhalts.

Tideus.

Baco erwähnte in seiner Perspektiva (op. mai. II. 50) eine Schrift des Tideus: Liber Aspectuum.

Es werden nur handschriftliche Texte angegeben, so von den Bibliotheken zu Basel, Erfurt und Paris. Herr Professor A. A. Björnbo in Kopenhagen hat eine Druckausgabe der Schrift des Tideus in Vorbereitung, welche wohl verschiedene bisherige Annahmen[1]) korrigieren wird. Nach Mitteilung von H. Prof. Björnbo steht im ganzen Buche nichts von Hohlspiegeln, sondern nur von grossen und kleineren Spiegeln. Ebenso stimmt keiner der Texte mit Eutocius-Diocles-Zitaten überein.

Theodosius.

Baco beruft sich zu wiederholten Malen auf das Buch des Theosius ‚de sphaera', das ein geometrisches Lehrbuch über die Kugeloberfläche darstellt. Wir haben es hier mutmasslich mit Theodosius von Tripolis zu tun, der ca. 100 v. Chr. lebte[2]). Dieser schrieb nämlich eine Sphärik in 3 Büchern, wobei er sich auf Vorgänger stützt, ohne ihren Namen zu nennen. Das Werk ist griechisch und lateinisch von Pena zu Paris 1558 und von Ernst Nizze 1826 zu Strahlsund herausgegeben worden; letzterer übersetzte es auch ins Deutsche.

Die übrigen bei Baco noch auftretenden Namen griechischer Autoren, die ihm hauptsächlich aus anderen Werken, wie Aristoteles, Cicero, Augustin, Boëtius bekannt waren, führen wir nicht weiter an, da sie für seine Physik keine Bedeutung haben.

Bemerken wollen wir noch, dass Baco von den physikalischen Arbeiten eines Archimedes, Ktesibius, Heron keine Erwähnung tut und auch ihre Namen nicht nennt. Es lagen übrigens Probleme, wie

[1]) Über Tideus siehe: Ztschr. f. Math. . . . 10 (p. 491); 18 (p. 331); 19 (p. 96); 31 (1886) lit. hist. Abt. 104f. Suter: Math. Verz. im Fihr. Schlöhm. Ztschr. . . . 37 (1892) p. 18f. Rose: Anecdota II. 292; Curtze: Liber trium fratrum . . in den Nova acta d. K. Leop.-Carol. Deutschen Akad. der Naturforscher Bd. XLIX Nr. 2 1885, p. 111 Nr. 11. Vgl. Björnbo in Bibl. math. 1903, 327.

[2]) Cf. Cantor Vorl. I. 282f. II. 98. Steinschn. in Ztschr. d. M. X 456; Suter in Bibl. math. 1898 p. 73.

sie die Genannten ausführten, auch ausserhalb der Art und Weise der scholastischen Forschungsmethode und wurden, abgesehen von Nemorarius, vielleicht von keinem Gelehrten seines Jahrhunderts behandelt, wiewohl die Araber sie nicht übersehen hatten.

2. Kapitel.

Lateinische Autoren.

Caius Plinius Secundus, der Ältere (23—79 n. Chr.).

Von den römischen Autoren wird bei Roger Baco am meisten Plinius genannt. Seine historia naturalis in 37 Büchern stellt eine grosse naturwissenschaftliche Encyklopädie dar, worin alles zusammengetragen ist, was ihm von physikalischen Dingen zugänglich war.

Seneca († 65 n. Chr.).

Für Bacos Physik kommen die naturales quaestiones in 7 Büchern in Betracht, worin besonders auch meteorologische Fragen erörtert werden.

Solinus (3. Jahrh. n. Chr.).

Baco macht öfters von seinen Collectanea rerum mirabilium Gebrauch, die im allgemeinen sich an Plinius anschliessen. Isidor von Sevilla und Martianus Capella, gleichfalls Baco bekannt, fussen darauf. Letzterer schrieb ca. 430 ein Lehrbuch der „septem artes liberales" das für das ganze Mittelalter von Bedeutung war.

Augustinus (354—430).

Dieser grosse Geist beherrschte im Mittelalter grösstenteils die Philosophie bis zur Rezeption des Aristoteles. Die physikalische Seite berührte er nur gelegentlich. Baco beruft sich mehrmals auf seine astronomischen Ansichten und besonders auf seine Schrift über die Musik[1]), worin er sich über den Sehvorgang äussert.

Boëtius (geb. ca. 480 n. Chr.) und Cassiodorus (477 n. Chr.).

Roger Baco preist die Gelehrsamkeit des Boëtius in dem Sprachen und Naturwissenschaften und beruft sich öfters auf ihn. Boëtius übersetzte auch schon Schriften des Aristoteles, aber nur logische und keine physikalischen. Von Cassiodor rühmt Baco seine

[1]) op. mai. II. 50.

Kenntnisse in den Wissenschaften des Quadriviums und zitiert sein Werk: de artibus et disciplinis secularium studiorum[1]).

Constantinus Afrikanus (Mitte des 11. Jahrh.)

Dieser war längere Zeit in Messopotamien und schrieb über medizinische Fragen. Sein Werk ist dem Abte Desiderius von Monte Casino gewidmet. Der zweite Band enthält kurze Anatomie des Gehirns und Auges. Baco beruft sich auf ihn bei Erklärung des Gesichtsorganes[2]).

Jordanus Nemorarius († 1237).

Jordanus Nemorarius, auch Johannes Saxo genannt, ist ein gelehrter Dominikaner der scholastischen Zeit. Besonders bemerkenswert ist, dass er sein Augenmerk auch mechanischen Problemen zuwandte[3]). Baco beruft sich auf seine Schrift ‚de Ponderibus' in 13 Sätzen[4]), auf die Abhandlung ‚de Triangulis'[5]) und auf ein Werk über Arithmetik, das auch mathematische Probleme enthält[6]).

3. Kapitel.

Arabische Autoren.

Ibn al Haitam († 1038).

Ungleich wichtiger als die vorausgehenden griechischen und lateinischen Autoren sind für Bacos physikalische Abhandlungen die Werke einer Reihe arabischer Gelehrter, unter denen Ibn al Haitam, bei den

---

[1]) op. mai. I. 117, 237.

[2]) op. mai. II. 13ff. De secret. op. p. 527. Sein Werk wurde gedruckt zu Basel 1536 und 1539. Bridges op. mai. II. 13.

[3]) Vgl. Gerland und Traumüller: Gesch. d. Experiment. Kunst . . . p. 78. Näh. bei P. Duhem: Les origines de la Statique . . . p. 99 ff.

[4]) op. mai. I. 169—173; von Petr. Apianus 1533 publiziert. Näh. bei P. Duhem p. 112. Vgl. III. Abschn. unserer Abh. über die „Wage".

[5]) op. mai. I. p 158, gedruckt in d. Mitt. d. Copernik. Ver. f. Kunst u. Wiss. Thorn 1887.

[6]) Rog. Baco kennt diesen Traktat wie aus den Fragmenten über die Prinz. d. Math. hervorgeht. Bridges op. mai. I. 169 Anm. — Public. v. Fab. Strapulensis, Paris 1514. Weitere Schr. d. Nemorarnis bei Cantor: Gesch. d. Math. II. 60; Zeitschr. d. Math. 1891 Hist. Abt. u. Duhem l. c.

Lateinern Alhazen geheissen, den hervorragendsten Platz einnimmt. Diese Behauptung bestätigt sich durch die Forschungen, die E. Wiedemann während der letzten Jahrzehnte über diesen gelehrten Araber angestellt hat[1]). Von seinen Schriften sind für unsere Arbeit folgende von Belang:

I. Sein Hauptwerk, die Optik in der Ausgabe von Risner unter dem Titel: Opticae thesaurus Alhazeni arabis libri septem nunc primum editi eiusdem liber de crepusculis et nubium ascensionibus. Basileae 1572[2]). In demselben Folianten befindet sich auch die Optik des Vitello, die sich vielfach an die Alhazensche anschliesst. Die Optik Ibn al-Haitams wurde von Gerhard von Cremona aus dem Arabischen übersetzt[3]). Risner scheint diese Übersetzung herausgegeben zu haben. Sie umfasst 7 Bücher folgenden Inhalts:

1. Natur des Lichtes und der Farbe nebst Anatomie des Sehorgans. 2. Sehfunktion und Perzeption. 3. Unvollkommenheiten und Täuschungen. 4., 5., 6. Reflexion; Lage und Vervielfältigung des Bildes; sieben Spiegelarten. 7. Refraktion.

II. Zwei wertvolle Handschriften, welche die meisten anderen optischen Arbeiten des Arabers enthalten, sind durch E. Wiedemann bekannt geworden[4]). Die eine befindet sich in der Bibliothek des Indian Office zu London und umfasst: 1. Die Abhandlung über das Licht[5]). 2. Über das Licht der Sterne. 3. Über die sphärischen und parabolischen Spiegel[6]).

Die zweite Handschrift besitzt die Leidener Bibliothek. Diese enthält: 1. Neben einem Kommentar zu dem Werke über die Optik

---

[1]) Sie sind niedergelegt in Pogg. Ann. 1876 (159) p. 658; Wiedem. Ann. 1877 (1) p. 480; 7 p. 679; 17 p 350; 20 p. 337; 21 p. 541; 39 p. 110; 39 p. 470; 39 p. 565. Bulletino von Boncompagni 1881. Über das Leben des Gelehrten haben Angaben gebracht: E. Wiedemann in Annalen d. Phys. 1876 p. 656; 1890 p. 113 f.; Suter in Abh. p. 91 f.; Steinschneider in Bibl. math. 1892 p. 53. Wüstenfeld: Gesch. arab. Ärzte. Nr. 130. Brockelmann Bd. 1 Seite 469, Woepcke: L'Algèbre d'Omar Al Chajjâmî. Paris 1851 p. 73 u. andere.

[2]) Narducci hat eine ältere nicht gedruckte ital. Übers. nachgewiesen. Eine arab. Handschr. findet sich in Leiden. E. Wiedemann in Ann. d. Phys. 1890 p. 114.

[3]) Wüstenfeld Abh. p. 66.

[4]) Näh. Ann. d. Phys. 1890 p. 115.

[5]) Übersetzt von J. Baarmann in d. Ztschr. d. deutsch-morgenländ. Gesellsch. 36. p. 195 f. Bemerkungen hierzu gab E. Wiedemann in Bullet. v. Boncomp. 1883.

[6]) Ausführl. beh. von E. Wiedemann in Ann. d. Phys. 1890 p. 116 ff.

eine weitere Ausführung über die Brechung des Lichtes[1]) von seiten des Kommentars. 2. Eine Schrift über die Brennkugel[2]). 3. Über die Brechung durch eine Glaskugel. 4. Die Lehre von den Farben; Regenbögen, Höfen nebst Untersuchungen aus Avicennas Werk Al Schafâ. 5. Einen kurzen Abriss über das Licht[3]). 6. Einen Traktat über Schatten und Finsternisse.

III. Ausser diesen Schriften hat Alhazen noch eine grosse Anzahl weiterer Werke insbesonders mathematischen Inhalts verfasst, die wir hier nicht weiter berücksichtigen wollen[4]).

Ibn Sinâ (980—1037).

Ibn Sîna oder Avicenna aus Harmaitâ in der Provinz Bochârâ gilt als einer der grössten arabischen Philosophen[5]). Roger Baco bezeichnet ihn als den Gelehrten, der den Aristoteles am vorzüglichsten erforschte und nachahmte; als den Führer und Fürst der Philosophen neben Aristoteles, worin alle übereinstimmen[6]). Ferner sagt er von ihm, dass er die Werke des Ptolemäus vollendete, wie aus seinem eigenen Buche „liber Sufficientiae" hervorgehe[7]). Über dieses Werk gibt er noch näheren Aufschluss, indem er erwähnt, dass Avicenna ein dreifaches philosophisches Werk anlegte[8]) und zwar eines nach den allgemeinen Sentenzen der Peripatetiker; ein zweites nach der reinen Wahrheit der Philosophie, welche die Waffen des Widerspruchs nicht fürchtet und ein drittes, das mit dem Ende seines Lebens abschliesst. In diesem letzteren erkläre er die früheren und sammle die Geheimnisse der Natur und Kunst. Von diesen Arbeiten seien jedoch zwei nicht übersetzt; nur das erste besässen die Lateiner und zwar auch nur stückweise. Es heisse „Assephae" d. i. Liber Sufficientiae. (Al Schafâ). Ausser diesem Werke nennt Baco noch die Schrift de Animalibus und de Anima[9]). Letzteres Werk, in welchem er als Arzt

---

[1]) E. W. in d. Ann. d. Phys. 21 p. 541.

[2]) E. Wiedemann in Ann. d. Phys. 7. p. 679 u. 39. p. 565.

[3]) E. Wiedemann in Ann. d. Phys. 20. p. 337.

[4]) Wöpcke führt 117, ein anderer sogar 130 Werke an. Vgl. Suter: Abh. p. 92.

[5]) Vgl. Suter: Abh. p. 86. Brockelmann: Gesch. d. arab. Lit. p. 453. Danach soll er 99 Schriften verfasst haben. Über sein Leben siehe Wüstenfeld: Leben arab. Ärzte 64 ff.

[6]) op. mai. I. 55 u. 212.

[7]) op. mai. I. 245.

[8]) op. mai. I. 55 u. 70.

[9]) de Animalibus wurde von Mich. Scotus für Friedr. II. übersetzt. Wüstenfeld: Abh. 99. 1500 in Venedig gedruckt. — Eine Spezialarbeit über

über die Sinneswerkzeuge sich verbreitet, diente Baco vorzüglich in seiner Perspektive[1]).

Ibn Rošd (1126—1198).

Ibn Rošd oder Averroes stammt aus Cordova und ist als ausgezeichneter Kenner des Aristoteles bekannt, weshalb er auch kurz der „Erklärer" heisst[2]). Baco preist ihn als einen Mann von solidem Wissen, der seine Vorgänger vielfach korrigierte und ergänzte, obgleich er auch selbst in mancher Hinsicht der Korrektur und Ergänzung bedürfe[3]). Im opus maius finden sich folgende Schriften verwertet: Liber Physicorum; Liber Coeli et Mundi; De Substantia Orbis[4]). De Sensu et Sensato und ein Kommentar zu „de Anima"[5]).

Al-Kindî (ca. 800—870).

Ja 'qûb al Kindî gilt als einer der grössten Philosophen der Araber. Aus Kûfa gebürtig wirkte er später als Mathematiker, Astrolog, Arzt und Physiker in Baṣra und Baġdâd. Baco schätzt ihn sehr hoch und zitiert wiederholt sein optisches Werk: Scientia de aspectibus, das von Gerh. von Cremona übersetzt war[6]). Von den übrigen physikalischen Arbeiten[7]) Al Kindîs nennt Baco keine.

Tâbit ben Korra (836—901).

Thebites, nach Baco[8]) der grösste Philosoph unter den Christen, stammt aus Harrân in Messopotamien. Die grösste Zeit seines Lebens brachte er als Freund des grossen Mathematikers Muh. b. Mûsâ in

---

Avic. opus egregium de anima hat Winter verfasst: Inaug.-Diss. Erlangen (München 1903).

[1]) Über andere Schriften Ibn Sînâs siehe Suter: Abh. p. 89. Überweg-H. II. 222. Brockelmann: Gesch. d. arab. Lit. I. 452 f.

[2]) Suter: Abh. p. 127.

[3]) op. mai. I. 56.

[4]) Suter (Abh. 128) hält diese Schrift für identisch mit „über die Bewegung der Sphäre".

[5]) Mich. Scotus übersetzte super „de anima", de substantia orbis und de sensu et sensato. Wüstenfeld, Abh. 99. Weitere Werke und Übers. siehe Brockelmann I. 461 f. u. Überweg-H. II. 223 f.

[6]) Wüstenfeld Abh. 61; Suter Abh. 26; vgl. Björnbo Bibl. math. 1903 S. 330 f.

[7]) Darunter auch „Über die Brennspiegel. Vgl. Suter: Zeitschr. 12 f. 14, Ann. p. 46; Wüstenfeld Abh. 62, 67 f., 117. Suter Abh. 10, 26. Flügel: Alkindi, der Philos. d. Araber Lpzg. 1857 S. 20. Brockelmann I. 209 f.

[8]) op. mai. I. 394. Er war kein Muhamedaner, ob aber Christ, ist zweifelhaft. Bridges I. 394 Anm.

Baġdâd zu und übersetzte Werke des Archimedes, Apollonius, Euklides, Theodosius, die Physik des Aristoteles und einiges von Hippokrates und Galenus ins Arabische[1]). Seine sonstige Tätigkeit erstreckte sich auf astronomische Probleme. Hierin kennt ihn Roger Baco, indem er schreibt[2]):

„Thebites bereicherte gar sehr, sogar nach indischen Quellen die Werke des Ptolemäus und anderer Astronomen, sowohl nach der spekulativen wie nach der praktischen Seite und viele Gelehrte berufen sich darauf[3])."

Al-Fârâbî (870—950).

Ein sehr fruchtbarer Schriftsteller[4]). Roger Baco gebraucht von ihm neben einigen philosophischen Abhandlungen ein eigenartiges Werk: Liber de scientiis oder de divisione scientiarum[5]).

Al-Farġânî († ca. 833).

Alfraganus war Direktor der Sternwarte zu Baġdâd und widmete sich ganz der Astronomie. Sein Gewährsmann ist Ptolemäus, mit dem ihn auch Baco öfters zitiert[6]).

Al-Battânî (850—929).

Fast ausschliesslich Astronom schrieb er Kommentare zu Ptolemäus. Baco kennt die „Sentenzen des Albategnius"[7]).

[1]) ibid.

[2]) op. mai. I. p. 394 u. 192.

[3]) Eine Aufzählung seiner astronomischen Schriften gibt Werner in seiner Psychologie Roger Bacos: Sitz. Ber. der kais. Akad. d. W. zu Wien 1879 (Jan. u. Febr.) p. 547. Vgl. Brockelmann I. 217.

[4]) Über sein Leben vgl. Suter: Abh. p. 54. Brockelmann I. 210. Steinschneider: Alfarabi des arab. Phil. Leben u. Schriften. Petersburg u. Lpzg. 1869. Über seine Philosophie vgl. Dieterici: Philos. Abh. Leiden 1890; Dieterici: Der Musterstaat von Alfârâbî, Leiden 1900.

[5]) op. mai. I. 72, 99 ff. Bridges bemerkt: Diese Schrift stellt den Versuch einer Encyklopädie in 5 Kapiteln dar: 1. von der Sprachwissenschaft, 2. über Logik, 3. Geometrie, Arithmetik, scientia de aspectibus (Optik), scientia stellarum doctrinalis, scientia musicae, scientia de ponderibus, scientia de ingeniis, 4. scientia naturalis et divina, 5. scientia civilis: dicendi et loquendi. Gerh. v. Cremona übersetzte die Schrift ins Latein. Wüstenfeld Abh. 38, 67, 59.

[6]) Die Werke Alfraganis übers. Joh. Hispalensis u. Cerh. v. Cremona. Wüstenfeld 25, 61. Suter Abh. p. 18. Regimontanus hielt nach ihnen zu Padua Vorlesung (15. Jahrh).

[7]) Sein Hauptwerk ist wohl ‚de scientia stellarum', übersetzt von Plato von Tivoli. Näh. Suter: Ztschr. 19; 35. Abh. 45. Wüstenfeld Abh. 39.

Ga ʿfar b. Muh. el-Balchî, Abû Maʿšar (ca. 885).

Bei den Lateinern Albumazar. Baco erwähnt öfters seine beiden Hauptwerke: Liber Conjunctionum oder de magnis Conjunctionibus, und Introductorium in Astronomiam Albumazaris Abalachi[1]).

Al Gazzâlî (1059—1111)

war Lehrer in Baġdâd. Seine Werke wurden im Mittelalter viel gelesen[2]). Baco zitiert nur seine Logik.

Al-Zarkâlî[3]) (ca. 1080).

Arzachel, d. i. der Maler, ist ein berühmter Astronom und Erfinder eines Instruments, das nach ihm Zarkalî genannt wurde[4]). Baco erwähnt öfters seine Tabellen und Kanons[5]).

ʿAlî b. Abî'l-Riğâl Abû'l-Ḥasan (ca. 1100).

Haly Abenragel[6]) verknüpfte nach Baco Astronomie und Medizin zu astrologischen Deutungen. Ferner sagt er von ihm, dass er das Centilogium des Ptolemäus erklärt habe. Ausserdem führt er das Buch ‚de regimine Regali' an, weshalb er ihn auch ‚Haly regalis' nennt. Ein Teil dieser Schrift ist ‚de regimine senum', worauf Bacos Abhandlung ‚de retardandis senectutis accidentibus fusst[7]). Endlich kennt Baco noch eine Übersetzung Halys aus Galenus, die er mit ‚supra Tegni' bezeichnet[8]).

---

[1]) Diese Werke wurden gedruckt in Augsb. 1489 u. Venedig 1489 u. 1506, wohl in der Übertrag. d. Joh. Hispalensis. Vgl. Suter: Abh. 28. Wüstenfeld Abh. 25.

[2]) Suter: Abh. 112; näh. Gosche in d. Abh. d. kgl. Akademie d. Wiss. Berlin 1858. Philol. hist. Abt. p. 239 ff.; ebenso Carra de Vaux: Gazali, Paris 1902.

[3]) Suter: Abh. p. 109; Bullet. Boncomp. 1881 p. 171: Études sur Zarkâlî von Steinschneider.

[4]) Wüstenfeld: Abh. 78. Bibl. math. 1905 p. 136.

[5]) Übers. v. Gerh. v. Cremona. Wüstenfeld Abh. 78: Bibl. math. 1891 p. 67.

[6]) Suter: Abh. p. 100. op. mai. I. 382 ff. u. a. and. O.

[7]) Vgl. op. mai. I. 387; II. 210, 213.

[8]) op. mai. II. 207. ‚Tegni' von τέχνη. De regimine regali wurde von seinem Schüler Stephan 1127 zu Antiochien ins Latein übersetzt. 1523 zu Frankfurt gedr. Bridges: op. mai. II. 206. Appendix de secret. operib. p. 530.

Artephius

ist niemand anderer als der als Dichter und Alchemist berühmte Abû Ismâ'îl al Ḥasan b. Alî b. Muh. al Iṣfahânî at Ṭoġrâ'î[1]). Er war persischer Abkunft und lebte dann hauptsächlich in Baġdâd, wo er auch politisch tätig war und 1121 eines gewaltsamen Todes starb.

Es werden ihm 3 Werke naturwissenschaftlichen Inhalt zugeschrieben[2]): Artefi Arabis liber secretus; Clavis majoris sapientiae (theatr. chemic. A. IV.); Tractatus de vita proroganda. Roger Baco zitiert die Schrift: Liber de secretis naturae[3]) und die über die Verlängerung des Lebens[4]). Auch der Schlüssel der höheren Weisheit, den Alfons X. aus dem Arabischen übersetzen liess, scheint von ihm in der Schrift de secretis operibus artis et naturae benützt worden zu sein[5]).

Artephius, dessen Clavis majoris sapientiae der König Alphons aus dem Arabischen übersetzen liess, ist der bei uns besonders als Dichter, im Orient als Alchemist bekannte al Ṭoġâî. Das Original zu obiger Schrift ist wahrscheinlich das Werk Schlüssel der Barmherzigkeit und Lampen der Weisheit über Alchemie (H. Ch. Bd. 6, S. 4); vgl. Gildemeister Z. D. M. G. Bd. 30, S. 534. 1876.

Mâschâllâh b. Atarî (ca. 815)

ein Jude, eigentlich Manasse d. i. „Was Gott will"[6]). Bei den Lateinern hiess er Messehalac u. dergl. Nach Baco verfasste er astronomische und astrologische Schriften[7]).

El-Qabîsî = Alcabitius (ca. 950)[8]).

Baco kennt ihn nur nach der astronomischen Seite und zitiert sein Werk: Introductorium in Astronomiam[9]).

---

[1]) Näh. J. Gildemeister in Zeitschr. d. deutsch-morgenl. Gesellsch. 30. Bd. (1876), p. 538 und Brockelmann: Arab. Lit. I., p. 247.

[2]) Näh. E. Chevreul im Journal des Savants 1867 p. 767—84; 1868, 45—59; 153—7; 209—24; 644—55. Die vollst. Literatur über Artef. Clavis... zu finden in Bibliograph of Chemistry, Smiths onian Miscell. Collect. 1492—1892 p. 943 f. 950 u s. w. Das Original zum „Schlüssel..." in der Bibl. Nat. zu Paris Nr. 2614 unter dem Titel: Les clefs de la miséricorde et les lumières de la sagesse. Näh. Catal. des MS. Arab. par le Baron De Slane, Paris 1883—95.

[3]) De secret. operibus . . . 545.

[4]) Op. mai. II. 209. — de secret. operibus . . . p. 538 ff.

[5]) Vgl. . . . 548 ff.

[6]) Suter: Abh. p. 5.

[7]) op. mai. I. 246, 255.

[8]) Suter: Ahh. 60.

[9]) op. mai. I. 389, übers. v. Joh Hispalensis. Siehe Wüstenfeld: Abh. p. 30 f.

Isak Israeli († ca. 932),

Astronom und Arzt aus Ägypten[1]. Baco kennt die Schrift: ‚Liber febrium[2]).

Altavicus

vielleicht identisch mit Taufig b. Muh. b. el-Ḥosein[3]) aus Spanien oder Nordafrika † 1122. Baco nennt ihn in der Astronomie[4]).

III. Abschnitt.

Die Physik Roger Bacos.

Von den verschiedenen Gebieten der Physik wendet Baco der Optik die grösste Aufmerksamkeit zu. Wie auch andere Gelehrte seiner Zeit nennt er sie die Wissenschaft der Perspektive, worunter die Lehre vom Sehen und dem Sehorgan, die Gesetze des Strahlenganges, die Reflexion und Refraktion begriffen sind. Bevor wir Bacos Ansichten näher darstellen, dürfte es sich verlohnen, die Theorien der Alten und Araber in bezug auf den Sehvorgang näher kennen zu lernen.

A. Optik.

1. Kapitel.

Theorie des Sehens bei den Alten und Arabern.

Baco selbst[5]) berichtet:

Hinsichtlich des Sehvorganges herrschten bei den Alten und Arabern zwei Hauptansichten. Die einen lehrten nach Plato, dass beim Sehen das Auge aktiv sei und einen gewissen Ausfluss entsende, um die Gegenstände zu erfassen, wie z. B. das Auge einen Fühlstrahl zu den Sternen schickt, der sie erfasst und dem Auge das Bild zurückgibt. Die anderen nehmen mit

---

[1]) Kaufmann: „Über die Sinne“ p. 51. Suter: Abh. p. 107. Brockelmann: I. 235. Seine Werke public. Lugd. 1515.

[2]) op. mai. I. 246; de secret. op. 532.

[3]) Suter: Abh. 112.

[4]) op. mai. I. 255.

[5]) Op. mai. II. 50f.

den Stoikern[1]) an, dass das Sehen sich dadurch vollziehe, dass das Auge etwas nach innen aufnehme und nicht etwas nach aussen entsende.

Zwischen diesen beiden Ansichten konnten die Gelehrten des Altertums und Mittelalters keine Sicherheit gewinnen. Wir wollen nun diese beiden Richtungen näher betrachten.

Die Platoniker[2]).

Die ursprüngliche rohsinnliche Fühlfädentheorie modifizierte man nach Plato und später besonders nach Galen dahin, dass man vom Auge ein Licht ausgehen liess und eine Kraft annahm, welche die Gestalt der Dinge gleichsam herbeiholt. Das Licht fällt entsprechend einem Kegel aus dem Sehloch und bringt das Bild des Objektes in den Sehgeist, worauf es in die Seele gelangt[3]). Dabei stützte man sich besonders darauf, dass das Auge gewölbt und deshalb mehr zum Aussenden als zur Aufnahme geeignet sei und gewisse Tiere und auch Menschen (Domitian) im Dunkeln sehen sollen[4]). Plato vertritt genannte Ansicht im Timäus. Im Theädet nähert er sich jedoch mehr der Lehre, dass auch vom Gegenstande Strahlen ausgehen, mit den Augenstrahlen zusammentreffen und so das Bild konstituieren. (Platonische Synaugie)[5]). Zur Aussendungstheorie bekannten sich im Altertum ausser Plato[6]) noch Pythagoras (580), Parmenides (515), Empedokles (444), Leucippus und Demokrit (420), Epicur (341—270). Nach den beiden letzteren lösen sich durch das Betasten der Fühlstrahlen Bilder (*εἴδωλα* oder *ἀπορροῖαι*) ab, die ins Auge gelangen. Nach Epicur heissen sie auch Formen (*τύποι*), die nach Farbe und Anordnung der Teile dem Gegenstande selbst gleichen. Auch Lucretius (ca. 97—55) lässt unermesslich

[1]) „Die anderen" sind eigentlich die Aristoteliker. Baco beruft sich (II. 51) auf Boetius, der jedoch die Physik des Aristoteles noch nicht kannte. Die Stoiker haben aber manche aristotelischen Lehren in ihr System aufgenommen.

[2]) Vgl. Hirschb. Gesch. d. Augenheilk. § 88f.

[3]) Nach Gerson ben Saloma gibt Galen für seine Ansicht verschiedene Gründe an, z. B. das Funkeln des Auges bei Menschen und Tieren; Kurz- und Weitsichtigkeit; Schwäche des Sehens in der Krankheit; die Tatsache, dass Türme und Berge im Auge Platz haben u. s. w. Näheres bei Kaufmann „über die Sinne" . . . p. 108. Über Sehgeist, Kaufmann ib. 106.

[4]) E. Wiedemann in „Sammlung gemeinverständl. Vorträge". Hamburg 1890. Heft 97 p. 19.

[5]) Vgl. Helmholtz, Handb. der Physiologie der Optik. Leipzig 1867, p. 207.

[6]) Diels: Doxographie Graeci . . . 403—406.

dünne Häutchen oder Plättchen sich vom Objekte ablösen[1]). Ferner gehört hierher Apulejus, Rhetor aus Madaura (ca. 150 v. Chr.), der sich in einer Verteidigungsschrift auf die abgelösten Bilder beruft und sie exuviae d. i. Ablagerungen nennt. Sie werden durch die Augenstrahlen gleichsam flüssig gemacht und mit Luft vermengt. Prallen sie auf ihrem Gange irgendwo an, so werden sie reflektiert wie der Schall beim Echo[2]). Ähnliche Ansichten vertraten auch Hipparch (ca. 150 v. Chr.), Euklid, Ptolemäus[3]) und Tideus[4]). Letzterer[5]) sagt nach Baco:

„Das Auge erkennt nur dadurch die Distanz eines Objektes, sowie dessen Quantität, Ort und Lage, dass Sehstrahlen vom Auge zum Gegenstande gehen und die Oberfläche und Umrisse erfassen."

Nach Baco huldigt auch Augustinus[6]) dieser Anschauung, was bei seinen engen Beziehungen zu Plato nicht auffällt. In seiner Abhandlung über die Musik[7]) nimmt er an, dass zur Unterstützung der räumlichen Vorstellung vom Auge Strahlen ausströmen, die von der Seele gleichsam belebt werden.

Von den Arabern bekennt sich Alkindi in seiner scientia de aspectibus zu dieser Theorie wahrscheinlich von Euklid und den Neuplatonikern dazu geführt[8]).

Die Aristoteliker.

Aristoteles hält vor allem das Licht nicht für etwas Körperliches wie Empedokles[9]) und andere, sondern für eine Tätigkeit (ἐνέργεια) der durchsichtigen Medien. Ein durchsichtiges Mittel muss zwischen Auge und Gegenstand sein; dies ist notwendig wie die Luft zur Fortpflanzung des Schalles. Das Medium, ganz allgemein Äther,

---

[1]) Liber IV. de rerum natura: ‚membranae summo de corpore dereptae'.

[2]) Gust. Krüger: L. Apul. Mad. Apol. Berol. 1864, cap. XV, 19—XVI.

[3]) Op. mai. II. 50 und E. Wiedemann: „Zur Gesch. d. Lehre vom Sehen" in Annal. d. Ph. 1890, p. 470ff. Doch kennen Eukl. und Ptolem. auch die von den leuchtenden Körpern ausgehenden Strahlen, welche reflekt. und gebrochen werden können.

[4]) Op. mai. II. 50.

[5]) Im Buche de aspectibus.

[6]) Op. mai. II. 50.

[7]) Musica VI. B. VIII. Kap. Nr. 21.

[8]) Op. mai. II. 50. E. Wiedemann: Z. Lehre über das Sehen in Annal. d. Phys. a. a. O. Vgl. Sitzber. d. phys. med. Soc. Erlangen 1904, p. 336.

[9]) Op. mai. II. 71: lucem esse corpus et defluxum corporis sicut aqua defluit a fonte (Empedocles).

feine Luft genannt, wird durch das Licht, das von den Farben der Dinge kommt, in Bewegung gesetzt, wie man Luft und Wasser in Bewegung setzen kann[1]). Im Auge als Patiens erfolgt dann die Mitteilung wie durch ein Sigel, das man auf Wachs drückt. Das eingeprägte Bild ist *εἶδος αἰσθητόν*, species sensibilis, insofern der Eindruck sinnlich (plastisch) ist und die Gestalt und Farbe des Objektes repräsentiert. Der ganze Vorgang spielt sich schliesslich nicht in der Zeit, sondern in instanti ab[2]). Die aristotelische Sehtheorie enthält augenscheinlich unverkennbare Spuren der Undulationstheorie. Roger Baco folgt ihr, wie noch weiter klar gelegt werden soll, in wesentlichen Stücken.

Nach Aristoteles waren es erst wieder die Araber, die sich zu seinen Ansichten bekannten. So berichtet Dieterici[3]) von den „lauteren Brüdern" im 10. Jahrhundert, dass sie die Farben und Gestalten der Körper in geistiger Weise mittelst der durchsichtigen Körper der Sehkraft zugeführt werden liessen, die in den beiden Augäpfeln ruht. Diese Zuführung geschieht ähnlich der Mitteilung der Töne durch die Luft. Die beiden Augäpfel sind wie zwei Spiegel, durch welche die Bilder zunächst der Sehkraft und von dieser der Vorstellungskraft vermittelt werden.

Nach Avicenna († 1037) gelangen die Spezies aller sinnlich wahrnehmbaren Dinge zu den Organen der Wahrnehmung und prägen sich denselben ein. Die Sinneskraft erfasst diese Formen. Viele, sagt der Autor, haben eine andere Ansicht, indem sie vom Auge Strahlen austreten lassen, was jedoch aus verschiedenen Gründen unmöglich sei. Es kommen die Formen des Gesehenen zum Auge, indem das Durchsichtige sie widergebe[4]).

Auf aristotelischer Grundlage, jedoch klarer und eingehender erörtert auch Ibn al Haitam den Sehvorgang[5]). Das Auge, sagt er, muss durch ein Objekt gereizt werden und zwar mittelst der Strahlen die von den einzelnen Punkten des Objektes ausgehen und auf das

---

[1]) Vgl. Hirschberg: Gesch. d. Augenheilk. p. 110.

[2]) Vgl. Wilde, Gesch. d. Opt. p. 8; Priestleys, Gesch. der Opt. p. 1 ff.; E. Wiedemann: Z. Gesch. der Lehre vom Sehen l. c.; Helmholtz l. c.; E. Verdet: Über Wellentheorie des Lichtes, deutsch v. Exner 1883. 1 Bd., p. 9.

[3]) Philos. d. Araber im X. Jahrh. p. 134; Anthropologie d. Arab. im X. Jahrh. p. 26, 33 f.

[4]) E. Wiedemann: Z. Lehre vom Sehen l. c.; Winter: opus egregium Av. l. c. p. 48. Die Äusserungen Avicennas stimmen vollständig mit Porphyrius überein: Kaufmann über die Sinne p. 112.

[5]) Opticae thesaurus: Risner I 1, 2, 14, 23; II. 64 u. a. a. O.

Auge treffen. Ein jeder Gegenstand, der vom Lichte getroffen wird, hat nämlich die Fähigkeit es aufzunehmen und dann geradlinig fortzupflanzen. Die Strahlen fallen senkrecht auf die gewölbte Oberfläche des Auges und gehen ungebrochen durch die verschiedenen kugelförmigen Häute und Feuchtigkeiten bis zum Mittelpunkt des Auges, der mit dem Mittelpunkt der Kristallinse zusammenfällt. Die Gesamtheit dieser Strahlen bildet eine sogenannte Sehpyramide, deren Spitze der Mittelpunkt des Auges und deren Grundfläche die Oberfläche des Objektes ist. Der Lehre von Aristoteles wird dann beigefügt, dass die Bilder sich auf der Linsenkapsel abdrücken und von dort sich auf die Netzhaut spiegeln[1]). In seiner Optik[2]) sagt er: „Das Sehen vollzieht sich, wenn das Bild, das durch die Kristallinse aufgenommen wird, in den optischen Nerv gekommen ist. In der Höhlung dieses Nervs, also auf den beiden Netzhäuten, bilden sich die Umrisse des Objektes ab; es machen Quantität und Gestalt Eindruck und bewirken ein Bild. Hat das Objekt eine bestimmte Farbe, so hat auch jener Teil der Netzhaut diese Farbe und haben die Teile des Objektes verschiedene Farben, so sind auch die Teile auf der Netzhaut unterschiedlich gefärbt."

Wir sehen dabei, wie nahe der Araber mit dieser Darlegung unserer Vorstellung von den Netzhautbildern kommt. Roger Baco kennt diese Ansicht und referiert darüber, teilt sie aber nicht vollständig mit ihm[3]).

Schliesslich seien als Anhänger der aristotelischen Sehtheorie noch Averroes[4]) und Rhazes[5]) genannt. Vincenz von Beauvais widmet der Widerlegung der platonischen Lehre einen eigenen Abschnitt[6]).

2. Kapitel.

Roger Bacos Sehtheorie[7]).

1. Die Spezies.

Spezies ist nach aristotelisch-demokritischen Begriffen ein Bild, das von dem Gegenstande ausgehend durch die Luft sich fortpflanzt

[1]) Kaufmann . . . p. 111 f.

[2]) II. B. 16; I. 25. Vgl. op. mai. II. 428 f.

[3]) Erst Descartes und Kepler brachten die Auffassung von einem klaren Netzhautbilde als Sehbedingung zur Annahme.

[4]) Op. mai. II. 50.

[5]) E. Wiedemann: Über die Wiss. bei d. Arabern. Hamburg 1890.

[6]) Spec. nat. Buch 26. Kap. 46 ff.

[7]) Op. mai. I. 109 f.; II. 409 ff. (multipl. spec.) op. III. cap. 31 ff.

und mittelst der Nerven in das Sensorium commune gelangt, wo es species impressa wird und im Bewusstsein und Erkennen sich in species expressa umsetzt.

Diese Bedeutung hat Spezies im allgemeinen auch bei den Scholastikern. Roger Baco verbreitet sich sehr eingehend über diesen Begriff. Hören wir seine Erörterungen, so weit sie auf seine Sehtheorie Bezug haben:

Die Spezies oder der Abglanz eines Objektes wird durch eine dem Dinge (Agens, efficiens, generans) eigentümliche Kraft seines Wesens gewirkt. Je nach der Art der Wirkung wird sie mit verschiedenen Namen bezeichnet, mit Kraft, Bild, Schein, Strahl u. dgl. Die Bezeichnung Spezies möge ganz allgemein für jede der besonderen Wirkungen gebraucht werden. So sehen wir, sagt Baco mit Berufung auf Avicenna, die Spezies deutlich beim Lichte der Sonne. Dieses Licht an der Sonne (lux) ist das Agens und wirkt auf die Luft, wodurch diese erhellt wird. Die Helligkeit (lumen) ist die Spezies des Sonnenlichtes[1]). Auch die Spezies der Farbe wird sichtbar, wenn wir Licht durch ein intensiv gefärbtes Glas oder Tuch fallen lassen. Da sehen wir die Farbe des Glases und des Tuches noch im Schatten desselben. Und das ist die Spezies dieser Farbe.

Dem Wesen und der Definition nach ist die Spezies dem Agens und Generans ähnlich, denn sie ist die erste Wirkung (primus effectus) des Agens und durch sie werden erst weitere Wirkungen hervorgerufen. Indem nämlich das Agens die Spezies auf die Materie des Patiens ergiesst, wirkt die Spezies dort, was sie ihrer spezifischen Wesenheit nach wirken muss, mit anderen Worten: das Agens will mit Hilfe der Spezies sich das Patiens assimilieren und das wirken, was es selbst ist. Ist also das Agens Feuer, so sucht es das Patiens in Feuer zu verwandeln, ist es Wärme, so will es Wärme mitteilen und ist es Licht, so strebt es das Patiens zum Leuchten zu bringen. Hat dann das Feuer das Patiens ergriffen, so dass letzteres selbst brennt, dann haben wir es nicht mehr mit einer Spezies zu tun. Ganz ähnlich ergiesst sich die Spezies des Sonnenlichtes auf Mond und Sterne[2]) und nachher werden sie selbst leuchtend. Und deshalb sehen wir bei der Mondsfinsternis das Mondlicht rot, da nur von der Seite her Helligkeit einfallen kann.

---

[1]) Avicenna III. de anima: ‚Lux' ist Qualität des leuchtenden Agens, wie Feuer, Sterne . . . während ‚lumen' das fortgepflanzte aus dem ersten entstandenen Licht bedeutet. Baco: op. mai. II. 409. Vgl. Winter, opus egreg. Av. l. c. p. 42.

[2]) Baco nimmt an, wie im III. Abschn., Kap. 4 genauer gezeigt wird, dass Mond und Sterne ein eigenes auf natürliche Weise durch die Kraft der Sonne erzeugtes Licht haben. Fällt nur von der Seite her Licht auf den Mond, so ist das zu schwach um die gewöhnliche Helligkeit hervorzurufen, weshalb der Mond bei der Mondsfinsternis rot erscheint. — Die Abhandlung Ibn al Haitams über das Licht der Sterne hat Baco demnach wohl nicht gekannt.

Ausser diesen primären Effekten können sich dann sekundär noch verschiedene andere Wirkungen ergeben, indem z. B. aus der Spezies des Sonnenlichtes Trockenheit, Verwesung, Tod u. s. w. folgt. Es ist also immer zu beachten, dass die Spezies nicht das Ding selbst, sondern nur der Ausfluss des Dinges ist, obwohl sie von derselben spezifischen Natur wie das Agens ist. Sie hat auch ein unvollständiges Sein, das auch nicht selbständig werden kann, solange sie Spezies bleibt.

2. Art und Weise der Fortpflanzung der Spezies.

Wir haben bei Aristoteles gesehen, dass er die Spezies unkörperlich fasst und den Fortpflanzungsprozess als einen wellenartigen Bewegungsvorgang erklärt. Diese Ansicht nimmt nun auch Baco wieder auf und sucht sie weiter zu entwickeln. Hören wir seine geistreiche Theorie!:

Wenn wir öfters Ausdrücke gebrauchen, wie Spezies entsenden u. dgl., so dürfen wir uns das nicht so vorstellen, als ob von dem Agens sich Teilchen ablösten, die dann weiter gehen. Die Spezies pflanzt sich nicht durch Emission fort[1]). Würde vom Agens etwas herausgehen, so müsste eine Zerstörung und Auflösung der Substanz erfolgen, wie es beim Riechbaren (Moschus, Weihrauch) der Fall ist, wo Teilchen beim Auflösen oder Verbrennen frei werden und ausströmen. Anders ist es beim Licht. Die Himmelskörper, die am meisten Licht verbreiten, sind doch nicht korruptibel[2]). Also kann die Spezies nicht vom Agens weggehen und das Patiens kann nicht etwas aus dem Agens aufnehmen, das hineingegossen oder projiziert würde.

Die Spezies kann aber auch nicht aus dem Nichts entstehen und auch nicht von aussen her in das Agens und Patiens kommen, was an sich klar ist. Sie muss also entweder durch Impressio entstehen, wie Aristoteles annahm[3]) oder durch Immutatio und Eductio aus der Materie des Patiens. Die Impressio reicht indes auch nicht zur Erklärung hin; denn diese findet nur auf der Oberfläche des Mediums oder Patiens statt, wo durch Aufdrücken sich die einen Teile heben, die anderen senken, während doch die Wirkung bis auf den Grund gehen muss. Übrigens sehen wir ja die eindrückenden Dinge selbst nicht, während durch die Spezies die Dinge selbst sichtbar werden[4]). Es bleibt also nur übrig die Entstehung der Spezies durch Immu-

[1]) Op. mai. II. p. 143 ff. Bridges ib.

[2]) Baco verwirft also die Ansicht, dass beim Gange der Strahlen Lichtkörperchen oder dergleichen fortgeschleudert werden, wie Newton annahm. Aber seine Begründung ist falsch, um so mehr, als sie sich auf die mittelalterliche Meinung stützt, dass die Himmelskörper nach Kraft und Bewegung unmittelbar unter dem Einfluss der Geisterwelt stünden und deshalb inkorruptibel seien.

[3]) Aristoteles sagt: Das Sinnesorgan nimmt die Spezies der sichtbaren Dinge auf, wie das Wachs das Bild des Ringes. (de anima II. 12, 1.)

[4]) Höchstens könnte Impressio im weitesten Sinn genommen annähernd genügen, meint Baco.

tatio oder Eductio aus der aktiven Potenz der Materie des Patiens zu erklären. Und so ist es auch. Denn das Agens wirkt als Ganzes nach der Tiefe des Patiens und nicht bloss derjenige Teil des Agens, der das Patiens berührt. Sonst müsste ja ein kleiner Körper die gleiche Wirkung äussern wie ein grosser und es wäre gleich, wenn man die Hälfte der Sonne hinwegnähme. Es muss also das Agens nicht im Grunde des Patiens sein, weder der Substanz nach, noch irgendwie sonst, um aus der Potenz des untersten Teiles des Patiens etwas zu erzeugen. Nur die Oberflächen müssen sich berühren. Dadurch entsteht ein Reiz auf dem ersten Teil des Patiens und dieser pflanzt sich bis auf den Grund dieses Teilchens fort, das ein Körper ist, so klein wir ihn nehmen wollen. Ist das erste Teilchen in Bewegung gesetzt, so hat es die Spezies aktuell und übt seine Wirkung auf das zweite Teilchen aus, dieses wieder auf das dritte und so fort bis zum Schlusse. Und so muss es sein, weil das Agens sich nicht mit dem zweiten und den nachfolgenden Teilchen in Verbindung setzt und sie nicht unmittelbar anregt.

Baco nimmt also an, dass bei Übertragung der strahlenden Kraft ein Teilchen angeregt wird und die Anregung sich auf die nachfolgenden Teilchen fortpflanzt.

Ferner, sagt Baco, gehen von jedem Punkte des Agens, also von jedem kleinsten Teilchen desselben nach allen Richtungen (sphaerice kugelförmig) unzählige Spezies strahlenförmig aus, so dass, wo auch das Auge sich befinden mag und kein Hindernis dazwischen liegt, es die Spezies empfängt. Und zwar entsteht diese strahlende Spezies nicht aus einem Teile des Agens, sondern aus der Potenz des Patiens oder Mediums, die jedoch durch die Kraft und Aktivität des Agens angeregt wird. Wegen der Ähnlichkeit dieser Fortpflanzung mit den von den Gestirnen ausgehenden Strahlen, wird ganz allgemein diese Erscheinung, mag sie vom Lichte oder von den Farben verursacht sein, als „Strahlung" bezeichnet (multiplicatio radiosa).

Wir können also sagen: Vom Agens geht eine Kraftwirkung aus, welche jeden ersten Teil des körperlichen Patiens trifft und dessen latente Energie zur Erzeugung der Spezies anregt[1]).

3. Die Spezies hat 3 Dimensionen

und ist materieller Natur, aber kein Körper[2]).

Alhazen und Alkindi[3]) schreiben der Spezies Länge, Breite und Tiefe zu, woraus man entnehmen möchte, dass sie ein Körper sei. Dem ist aber nicht so. Denn die Spezies zerteilt nicht die Wände des Mediums, in dem die Fortpflanzung stattfindet. Auch können nicht zwei Körper an ein und demselben Ort sein. Fernerhin wird die Spezies aus der Potenz des Mediums als aus einem materiellen Prinzip erzeugt, weshalb sie keine andere Natur haben kann als die des Mediums selbst. Wir müssen also annehmen, dass

[1]) Vgl. Bridges op. mai. I. p. LXVII; op. mai. I. 117.
[2]) Op. mai. II. 459; 502 ff.
[3]) Op. mai. II. 459. Vgl. Alhazen: Opt. thes. IV. 16.

sie ein und dieselbe Natur mit dem Medium gemeinsam hat. Dies ergibt sich daraus, dass der komplette Effekt, der dem Agnes vollkommen gleich ist, keine neue körperliche Dimension besitzt, sondern jene des Körpers, den sich das Agens assimiliert. Endlich existiert die Spezies nicht für sich, sondern in einem anderen Ding, das seine spezifische körperliche Natur sowie seinen Ort beibehält. Nur dort, wo das Medium die Spezies empfängt, tritt eine Alteration ein. Auch hiernach kann also die Spezies kein eigener Körper sein. Der Strahl ist also eigentlich nichts, sondern nur ein momentan durch das Agens modifizierter Teil des Mediums und hat keine andere Dimension als die dieses Teiles des Mediums.

Nun aber entsteht ein Einwand. Nehmen wir an, das Medium sei in Ruhe. Eine Spezies aber schreite im Medium fort und nehme verschiedene Orte ein. Dann möchte man meinen, die Spezies müsse ein Körper sein, da nur ein Körper in einem anderen ruhenden Körper eine Ortsveränderung hervorbringen könne. Darauf ist zu sagen: Weder das, was am ersten Teil sich befindet, verlässt diesen Teil, noch geht das, was am zweiten ist, auf den dritten über, sondern jeder Teil bleibt an seinem Platze. Und deshalb existiert nicht etwas, das sich von Ort zu Ort bewegt, sondern es findet vielmehr eine ununterbrochene Erneuerung statt, ähnlich wie beim Schatten, der stets neu und neu hinsichtlich des Ortes entsteht. Wir haben also keine eigentliche Ortsveränderung desselben Subjekts, sondern eine Erneuerung des Subjekts selbst; denn die Spezies ist eine passio medii und hat keinen bestimmten Platz, wo sie gerade wäre.

Nehmen wir nun an, das Agens sei andauernd in einem durchsichtigen Medium. Bleibt dann auch die erste Spezies, solange das Agens gegenwärtig ist, oder vergeht sie und wird immer wieder durch eine neue ersetzt? Sie vergeht und entsteht immer wieder neu nach Alhazen, der sagt, dass sie schnell vergeht und schnell entsteht. Sonst müsste die Brennstelle bei einem Brennspiegel noch viel intensiver sein, als wir sie wahrnehmen. Es gewinnt also die Natur des Mediums die Oberhand über die Spezies und vernichtet sie jedesmal sofort, wenn sie entstanden ist und zwar in einem unmerklichen Zeitmoment. Übrigens ist diese Zeit grösser bei einem dichteren als bei einem dünneren Medium infolge des grösseren Widerstandes.

Wenn nun die Spezies kein Körper ist, ist sie dann vielleicht geistiger Natur, wie manche glaubten?[1]) Sie ist etwas Materielles, denn sie entsteht aus einem Körper, befindet sich in einem körperlichen und materiellen Medium und hat auch materielle Wirkungen, wie z. B. Wärme, Fäulnis u. s. w. Ganz besonders aber erhellt dies daraus, dass sie von derselben Wesenheit ist wie der komplette Effekt, in den sie schliesslich übergeht. Der komplette Effekt ist aber materiell und folglich auch der inkomplette, die Spezies.

Da nun die Spezies materieller Natur und in den Dimensionen eins mit dem Medium ist, so fällt auf, dass sie durch Luftbewegung[2]), die durch Wind oder sonstwie erfolgt, nicht in ihrer Richtung beeinflusst wird, sondern der Strahl sich ununterbrochen nach derselben Richtung fortpflanzt und

[1]) Op. mai. II. 43ff., 50ff. und 507ff.

[2]) Op. mai. II. 504.

ganz und gar an seinem Platze bleibt. Dies erklärt sich dadurch, dass jedes Luftteilchen, in welchem sich die Spezies befindet, zwar fortwährend durch ein anderes ersetzt wird, dass aber auch die Spezies sich auf dem Gange von Teilchen zu Teilchen erneuert. Diese Erneuerung fände auch statt, wenn die Luft in Ruhe wäre. Wechseln aber die Luftteilchen an derselben Stelle, so vergeht die Spezies, sobald das Teilchen aus der Richtung des Strahles gekommen ist und entsteht erst wieder, wenn ein anderes an diese Stelle tritt. Solange sich den Strahlen kein Hindernis in den Weg stellt, pflanzen sie sich ihrer Natur nach gradlinig fort. Erst wenn der Durchgang durch Medien ungleicher Dichte erfolgt und der Strahl nicht senkrecht auf sie fällt, finden Abweichungen statt. Dass das Licht sich geradlinig fortpflanzt[1]), beweist Alkindi durch die Schattenlinien der Körper und Alhazen durch die sichtbaren Linien, welche entstehen, wenn Licht in ein Zimmer fällt, in dem sich staubige Luft befindet[2]).

4. Der Gang des Lichtes erfordert Zeit[3]).

Dies war im Altertum und Mittelalter keine ausgemachte Sache. Selbst Baco von Verulam[4]) und Descartes[5]) fassten den Vorgang noch unzeitlich auf, bis Römer (1673) den experimentellen Beweis erbrachte.

Von den älteren Forschern, die sich mit dieser Frage beschäftigten, macht Roger Baco selbst mehrere namhaft:

So lehrte Empedocles[6]), dass das Licht Zeit brauche. Ihm widerspricht Aristoteles, der meinte, in einem mässigen Raume könne freilich die Zeit nicht wahrgenommen werden, aber in einem so grossen, wie von Osten nach Westen müssten wir sie beobachten können, wenn solche beim Gange des Lichtes verstreichen würde. Es ist also beim Lichte nicht so wie beim Schalle oder Geruche. Auch Seneca und Averroes, sagt Baco, gebrauchen für die Zeit des Strahlenganges die Ausdrücke „plötzlich“ und „augenblicklich“ Alkindi schreibt: Wenn ein gewisser Raum in einer unmerklichen Zeit durcheilt wird, so muss der zweifache Weg in einer doppelten Zeit zurückgelegt werden u. s. f. Deshalb müsste doch die Zeit, die zum Wege von Osten

---

[1]) Über Abweichungen von der geradlinigen Fortpfl. beim Gange durch schmale Öffnungen siehe das 8. Kapitel der Opt. gegenw. Abh.

[2]) Op. mai. II. 459. — Baarmann: Ibn al Haitam über das Licht ... p. 15. Baco kennt auch eine species tortosa, die sich auf krummem Wege fortpflanzt, nämlich durch die Kraft der Seele in den Krümmungen der Nerven. Op. mai. I. 117; II. 49.

[3]) Op. mai. II. 67—74; 525—529.

[4]) Novum Organon II. 46: „Vielleicht das Licht der Sterne mag Zeit brauchen.“

[5]) E. Verdet (Exner): Vorles. über Wellentheorie . . . p. 9 f.: „Das Licht pflanzt sich momentan, zeitlos fort.“

[6]) Überweg-Heinze I. 84.

nach Westen nötig ist, wahrnehmbar sein. Wir merken aber nichts davon, also muss das Licht in einem einzigen unteilbaren Moment entstehen.

Gegen Alkindis klare Worte wendet sich nun Baco, während er die der anderen so verstehen will, als meinten sie mit „plötzlich" und „augenblicklich" eine mit den Sinnen nicht wahrnehmbare Zeit.

Das Entstehen der Spezies, sagt er, gehe zwar schnell und in unmerklicher Zeit vor sich, aber zwischen den einzelnen Momenten seien noch ganz unmerkliche Abstufungen möglich (quietes insensibiles). Dass auch die ganze Zeit, die das Licht von Osten nach Westen braucht, unter der Schwelle der Sinneswahrnehmung bleiben könne, wie das erste kleinste Zeitteilchen, erkläre sich daraus, dass unser Auge überhaupt eine merkliche Zeit braucht, um einen Eindruck wahrzunehmen. Man erkenne dies deutlich, wenn man einen Gegenstand schnell an den Augen vorüberbewege, wobei man ihn nicht deutlich und unterschiedlich erkennen könne. Auch Ptolemäus weise darauf hin, wenn er sagt, dass Feuerfunken oder Gegenstände, die durch eine enge Öffnung vor dem Auge vorübergeführt werden, den Eindruck einer sehr schnellen Bewegung machen. Und Alhazen bemerke[1]), dass jede natürliche Veränderung, also auch die Lichtfortpflanzung in der Zeit vor sich gehe. Denn, wenn das Licht in einem bestimmten Momente am Anfang eines Raumes sei, so könne es in demselben Momente nicht auch am Ende desselben sein. Deshalb müsse auch ein gerader Strahl eher zu demselben Ziele gelangen als ein geknickter. Die Zurücklegung eines Punktes vollziehe sich in einem Augenblicke, die einer Strecke in der Zeit.

Die Fortpflanzung der Spezies in der Zeit folgert Baco auch aus dem Widerstande[2]) im Medium, welchen sie auf dem Gange zu überwinden hat:

Nach Alhazen entsteht im Medium immer Verdünnung und Verdichtung, wobei das dünne dem Verdichten widerstrebt. Hierbei wird die Spezies immer schwächer und schwächer, sie zerstreut sich immer mehr in akzidentale Strahlen; die Kraft vom Agens her wird mit der Entfernung immer geringer und das von ihm durchlaufene Medium manchmal immer dichter, wie z. B. die Luftschichten gegen die Erdoberfläche zu immer dichter werden. Das Medium kann sogar so dicht werden, dass der Strahl reflektiert wird. Aber nie ist es so dicht, dass nicht doch irgendwie eine Spezies hindurchginge, wenn wir es auch mit den Sinnen nicht wahrnehmen. Selbst durch dicke Klumpen von Gold und Erz gehen ja noch die Spezies von Schall und Wärme hindurch. Was aber die Schnelligkeit der Fortpflanzung anlangt, so verzögern sie auch die Widerstände nicht so weit, dass wir die Zeit wahrnehmen könnten. So müssen wir denn sagen, dass diese Bewegung die schnellste ist, die wir kennen, so schnell, dass sie mit keiner Bewegung eines Körpers verglichen werden kann.

---

[1]) Vgl. Opt. thes. II. 20. 21. Licht und Farbe werden ihrem Wesen nach in der Zeit wahrgenommen. Beweis ist der Farbenkreisel des Ptolemäus. Vgl. II. 69.

[2]) Op. mai. II. 478f. 529, 517—521; 469.

5. Kreuzung und Vermischung der Spezies[1]).

Da die Spezies materieller Natur sind, so müssen sich die gleichartigen, falls sie sich durchschneiden, vermischen und vereinigen können. Dabei gewinnt entweder die eine über die andere die Oberhand, wie beispielsweise ein starkes Licht ein schwaches überstrahlt, oder es wird ein Mittleres daraus, wie es bei den Farben zu sein pflegt, oder sie wirken in gleicher Weise und verstärken sich, wie annähernd gleich starke Lichter ihren Effekt vergrössern können.

Treffen nun zwei oder mehrere Spezies zusammen, so haben sie im allgemeinen im Vereinigungspunkt verschiedene Richtung. Von diesen verschiedenen Richtungen mag nun eine lotrecht zum Auge sein, die anderen schief. Dann kommt der lotrechte Strahl als Hauptstrahl, die schiefen aber nur durch die akzidentellen Strahlen, die sie verbreiten, zum Auge. Der Hauptstrahl übertrifft jedoch alle akzidentellen, so dass in Wirklichkeit kein gemischter Hauptstrahl wahrgenommen wird, wenn auch eine gemischte Spezies zum Auge gelangt, weil letztere nur akzidenteller Art ist."

Nach Alhazen stellt Baco darüber ein Experiment an:

Vor eine kleine Öffnung stellt er 3 Lichter und zwar so, dass die Strahlen von verschiedenen Seiten her sich in der Öffnung vereinigen müssen. Dabei beobachtet er, dass die Strahlen nach der Vereinigung von einander unterschieden in der gleichen Richtung wie vorher weiter gehen. Von einer Vermischung ist nichts zu sehen. Trotzdem findet in der Öffnung eine wahre Vermischung statt; da aber das Licht sich gerade fortpflanzt, so geht es auch jenseits des Loches in derselben Richtung weiter. Die Nebenstrahlen, die von diesen 3 Hauptstrahlen ausgehen, werden von letzteren verdunkelt[2]).

6. Stärke der Wirkung[3]).

Was die Stärke der Wirkung anlangt, so hat die lotrechte Richtung die grösste Kraft. Ein Stein, der lotrecht zur Erde fällt, hat eine viel grössere Wucht als wenn er auf der schiefen Ebene hinabgleitet; und dgl. Beispiele mehr.

Den Beweis hierfür entnimmt Baco der Erfahrung, wobei aber leider seine Schlüsse durch die von ihm nicht beachteten Nebenumstände wie Reibung u. s. w. getrübt werden[4]).

---

[1]) Op. mai. II. 39—46; 511 ff.

[2]) Baco rollt hier das Problem auf, wie es möglich sei, dass Licht-, Wärme- und Schallwellen ohne gegenseitige Störung auf unsere Sinne wirken können. Eine geistige Natur der Spezies nimmt er nicht an, dafür die lotrecht zum Organe kommenden Wirkungen, was natürlich keine Lösung ist. Erst durch Bernoulli (1738) wurde die Koexistenz kleiner Oszillationen nachgewiesen, die verschiedenen Ursachen entsprechen und getrennten Platz einnehmen. Bridges II. p. 46 Anm.

[3]) Op. mai. II. 539. 468f. op. III. 114.

[4]) Der Körper, der auf einer schiefen Ebene herabgleitet, hat genau dieselbe Geschwindigkeit und Wucht wie wenn er vertikal zur selben Tiefe

Weiters wirkt dann ein gerader Strahl stärker als ein gebrochener, da der gebrochene an der Brechungsstelle ein Hindernis erfährt, das ihn schwächt. Der gebrochene Strahl ist wieder stärker als der reflektierte, weil bei letzterem das Hindernis grösser als bei ersterem ist[1]).

Gehen wir nun von den Wirkungen eines einzelnen Punktes zu der Wirkung eines ganzen Objektes über, so müssen wir annehmen, dass sie sich bei diesem nach einem Strahlenkegel vollzieht, dessen Basis die Oberfläche des Objektes ist und dessen Spitze in einem Punkte des Auges liegt. Die Achse des Kegels ist dann der lotrechte Strahl, nach welchem die Wirkung am stärksten ist. Dabei wirkt ein kürzerer Kegel stärker als ein längerer, da die Achse des ersteren kürzer, also nicht so weit vom Objekt entfernt ist und deshalb seine Kraft nicht so geschwächt wird[2]). Dieser Grund überwiegt auch den, dass ein spitzer Kegel sich mehr der senkrechten Richtung nähert als ein stumpfer. Ist das Agens eine Kugel und grenzen wir auf ihr einen bestimmten Teil ab, so ist jener Kegel der kürzeste, dessen Strahlen Tangenten an diesem Kugelteil sind. Nehmen wir aber die Hälfte der Kugel, so werden die Strahlen parallel, weshalb stets weniger als die Hälfte einer Kugel sich zu einer Wirkungspyramide vereinigen kann.

7. Sehvorgang nach Roger Baco[3]).

Beim Sehen, führt Baco weiter aus, handelt es sich vor allem um die Spezies von Licht und Farbe. Ohne Licht sieht man nichts und zu starkes Licht verdunkelt alles schwache Licht, schwächt das Sehen und schadet dem Auge[4]). Dass ganz besonders auch die Farben auf das Sehen Einfluss haben, ergibt sich daraus, dass das Auge, wenn es beispielsweise auf hell beleuchtetem dichteren Grün geruht hat und sich dann auf einen dunklen Ort hinwendet, den Eindruck des Grünen noch eine Zeitlang beibehält, oder wenn man es auf einen mässig beleuchteten weissen Gegenstand richtet, den Eindruck von weiss und grün gemischt empfindet. Das Licht modifiziert auch die Farbenempfindung, wie wir es bei den Farben am Halse der Taube, an der Pfaufeder, an den Schuppen der Fische und am faulen Eichenholz deutlich sehen[5]).

---

gefallen wäre. Nur per accidens kann Geschwindigkeit und Wucht durch Hindernisse und Reibung verringert werden. (Die Wucht oder lebendige Kraft ist stets $= {}^1/_2\ m\ v^2$, wobei m die Masse und v die Geschwindigkeit ist.)

[1]) Baco denkt wohl an die verschiedene Wirkung bei senkrecht und schief auffallenden Sonnenstrahlen. Die Wirkung der letzteren ist deshalb schwächer, weil immer ein Teil der Energie durch Reflexion verloren geht und der Querschnitt des auffallenden Bündels vergrössert wird. Baco schliesst sich bei seinen Darlegungen an Alhazen IV. 4. 5 an.

[2]) Dass die Wirkung mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, war Baco nicht bekannt.

[3]) Op. mai. II. 30ff.; II. 35; I. 119.

[4]) Vgl. Alhazen: Optik I., 1, 2, 32 u. a. a. O.

[5]) Baco erklärt diese Erscheinungen durch den Wechsel der einfallenden Lichtstrahlen. Op. mai. II. 141f. — Das Farbenspiel am Halse der Taube

Das Sehen selbst vollzieht sich mittelst der Strahlen eines Strahlenkegels, der seine Spitze im Zentrum des Auges hat und dessen Basis auf dem Sehobjekte liegt. Die einzelnen Strahlen des Kegels stehen auf den Kugelflächen der Augenteile senkrecht und projizieren auf der Linse gleichsam die Punkte des Objektes in verkleinertem Massstabe, aber in derselben Anordnung wie am Objekte selbst[1]). Ausser diesen von den Punkten des Objektes her senkrecht einfallenden Strahlen gelangen aber von ihnen auch noch schiefe Strahlen und schiefe Kegel zum Auge, welche das Bild nicht verwirren, da sie ja durch ihre Richtung und durch die Brechung, die sie im Auge erleiden, geschwächt werden. Ja, die Brechung kann sie sogar zum nämlichen Punkte im Auge führen, wohin auch die lotrechten gelangen, so dass von ein und demselben Punkte des Objekts ein senkrechter und schiefer Strahl ins Auge kommen und die Wirkung verstärken. Der lotrechte Kegel heisst der eigentliche Seh- oder Strahlenkegel. Die Basis des Sehkegels ist mit Rücksicht auf das Deutlichsehen beschränkt. Was ausserhalb dieser Grenze liegt, wird schlecht oder gar nicht gesehen, die Stelle, auf welche die Achse gerichtet ist, am deutlichsten.

Ausser den Spezies, die vom Objekt ausgehen und auf das Auge wirken, nimmt Baco merkwürdigerweise entgegen den Ansichten des Aristoteles und Alhazen auch noch einen Ausfluss aus dem Auge selbst an[2]), zwar nicht einen materiellen, wie einige der Alten, sondern einen beseelten, wie er sagt, der aber doch der Spezies von leblosen Dingen sehr ähnlich ist. Dabei stützte er sich auf die Erwägung, die nach ihm auch Tideus in seiner Optik anstellt. Er schreibt:

Auf das Auge können nur die Spezies von Licht und Farben wirken. Wie kann nun Lage, Gestalt, Grösse u. s. w. im Auge empfunden werden, wenn nicht vom Auge selbst eine fühlende Spezies ausgeht?

Aristoteles verlegte die Beurteilung solcher Merkmale in das Sensorium, wo gleichsam ein plastischer Eindruck stattfinden soll und Alhazen ist, wie wir sahen, geneigt, etwas wie Netzhautbilder anzunehmen. Hören wir Baco weiter:

Wie ein unbeseelter Gegenstand eine unbeseelte Spezies wirkt, so das beseelte Organ eine beseelte, die gleichsam an der Kraft der Seele teil hat. Man darf also nicht annehmen, dass diese Spezies sich wie ein Körper vom Auge zum Objekte hin erstrecke; auch nicht, dass die Augenspezies die des Gegenstandes an sich reisse und zum Auge führe; wir müssen die Ansicht des Aristoteles, dass das Sehen aktiver und passiver Natur sei, so verstehen, dass das Auge die Spezies des Objektes aufnimmt und zugleich seine Kraft

---

und am Pfauenschwanz ist Interferenzerscheinung. Das Leuchten des Holzes und dgl. Phosphoreszenz.

[1]) Näheres beim „Auge". Vgl. Alhazen Opt. I. 15 f.

[2]) Wir sehen hier deutlich, wie Baco sich von Plato und Augustin beeinflussen lässt.

auf das Medium bis zum Objekte ausübt in unmerklich kurzer Zeit. Wie jedes Naturding seine Wirkung durch eigene Kraft vollbringt, so erkennt auch das Auge durch seine eigene Kraft ein Ding, das ausserhalb seiner liegt. Die Spezies der Dinge bedürfen überhaupt der Anregung von seiten des Auges, wodurch sie präpariert und dem beseelten Organ angepasst werden.

Ähnlich wie bei den Spezies der Objekte haben wir uns also von der Linse des Auges aus unzählige Kegel zu denken, die alle dieselbe Basis haben und deren Spitzen sich auf die einzelnen Punkte des Objektes erstrecken. Unter allen diesen ist einer der Hauptkegel, dessen Achse durch alle Zentren des Auges geht. Wir haben also 2 Kegel zu denken, einen vom Objekt und einen vom Auge. Sie treffen an einem bestimmten Orte zusammen, wobei keine Verwirrung entsteht, da sie nicht von derselben Art sind und die Kraft der Seele den unbeseelten überwiegt[1]). Die Natur bietet uns dafür ein Beispiel. Die Luft können wir nicht sehen, so lange sie in unserer Nähe ist. Erst in grosser Entfernung nehmen wir sie wahr. Der Grund liegt nicht bloss darin, dass sich viele Schichten angehäuft haben (wie ja auch ein tiefes Wasser dunkler erscheint), sondern weil die Sehkraft nicht mehr hinreicht sie zu durchdringen. Ein weiteres Beispiel liefert Licht und Farbe des Himmels in einem Wasserspiegel betrachtet. Da möchte man meinen, es müsse die entfernte Luft eine sichtbare Spezies haben, die zum Auge vom Wasserspiegel reflektiert wird. Dem ist aber nicht so. Es existiert nur die Spezies des Auges, die sich ohne Wasserspiegel in ungebrochener Linie bis zum Firmamente fortpflanzt, hier aber reflexiv vermittelst des Spiegels in jene Ferne gelangt[2]).

Also entgegen der klaren und sicheren Aussprache Alhazens, der die Annahme von Augenstrahlen als „überflüssig und nutzlos" bezeichnet, geht Baco wieder auf die Idee der Platoniker zurück, aber nicht ganz. Er sucht vielmehr die Ansicht des Plato und Aristoteles zu vereinigen, was die Neuplatoniker so gerne taten[3]).

---

[1]) Diese Ansicht findet sich auch bei den Arabern schon. Vgl. E. Wiedem. Beiträge Sitzber. 1904. S. 339.

[2]) Op. mai. II. 78. 92. — In der Abhandlung „über das Licht" geht Alhazen von der Anschauung aus, dass in allen durchsichtigen Körpern unter dem Himmel auch eine Undurchsichtigkeit vorhanden sei, denn von jedem geht, wenn das Licht ihn trifft, ein zweites Licht aus (diffuses, reflekt. Licht), welches schwächer ist als das erste. Dass auch von der Luft ein zweites Licht ausgeht, wird sichtbar in der Morgendämmerung. Näh. E. Wiedemann: Beiträge z. G. d. Nat. W. d. Arab. Erlangen (1904) Heft 36 p. 309. Vgl. Alhazen: Opt. I. 23. 31; II. 4.; V. cap. 5. 23.

[3]) Vgl. Dicterici: Musterstaat von Alfârâbî p. VIII. und philos. Abh. p. XIX.

Anm. Wenn auch manche arab. Philosophen und vor allem Alfârâbî stark von Plato beeinflusst worden sind, so stand doch Ibn al Haitam durchwegs auf dem Boden des Aristoteles, wie aus einer Stelle der Selbstbiographie Alhazens bei Ibn al Useibia hervorgeht. Es heisst dort nach Mitteilung von

Zur Vollständigkeit der Sehtheorie Bacos erübrigt jetzt noch die Erklärung des Sehens mit zwei Augen, der Ursachen der optischen Täuschungen und einiger anderer Erscheinungen, was im Anschluss an die Anatomie des Auges im folgenden Kapitel erörtert werden soll.

3. Kapitel.

Das Auge.

Die Beschreibung des Sehorgans gibt Baco ganz nach arabischen Mustern[1]), die sich wiederum meist an Galenus anschliessen[2]). Speziell nennt er Alhazen[3]), Avicenna[4]) und dazu noch Constantinus Africanus[5]). Die Zahl der Häute beträgt bei allen 7[6]), die der Feuchtigkeiten 3. Folgen wir seinen Ausführungen:

1. Häute.

Der vordere Teil des Gehirns wird von einem feinen Gewebe, pia mater genannt, umschlossen und diese wieder von einer dickeren Haut, der dura mater, die mit der Hirnschalenhaut und der Hirnschale verwachsen ist. Aus je einer Abteilung des Vordergehirns entspringt der Sehnerv und geht in zwei Strängen zu einer Öffnung des Schädelbeines (Sehnervloch)[7]), wo die

---

Prof. E. Wiedemann: „Und ich sah, dass es keinen Anfang für die Wahrheit gebe, ausser wenn man von Anschauungen ausgeht, deren Grundlage die sinnlichen Dinge und deren Bilder die geistigen Dinge sind. Ich fand dieses nirgends ausser in dem, was Aristoteles festgestellt hat von den Wissenschaften der Logik, der Physik (im aristotel. Sinne) und der Methaphysik, welche den Inhalt der Philosophie bilden. Hieran anschliessend gibt Ibn al Haitam einen kurzem Auszug aus den sämtlichen Schriften des Aristoteles. Plato erwähnt er nur einmal bei Besprechung der Werke des Galenus, indem er sagt, dass er auch das Buch des Galenus über die Ansichten des Hippokrates und Plato behandelt habe.

[1]) Näh. Kaufmann: „Die Sinne“ nach arab. Quellen . . . Hyrtl: Das Arabische und Hebr. in der Anatomie . . . Hirschberg und Lippert: Die Augenheilkunde von Ibn Sînâ; Hirschberg: Gesch. der Augenheilkunde p. 171f. 184 ff.

[2]) Kaufmann p. 2.

[3]) Siehe Opt. thes. I. 4ff.

[4]) Von Avicenna kommt hauptsächlich sein „Kanon“ in Betracht.

[5]) Näh. II. Abschn. bei den Autoren Bacos.

[6]) Alhazen zählt 4 unterschiedliche Häute auf, 3 weitere gelten als Teile derselben. I. 4.

[7]) Wie Constantinus aus der Anatomie grösserer Tiere weiss. Avicenna hat den Sehnerv bis in die pia mater verfolgt (Baco).

Kreuzung (Chiasma)[1]) der Stränge stattfindet. Von da ab gehen sie wieder auseinander, der von der rechten Gehirnkammer zum linken Auge und der von der linken Abteilung zum rechten. Der Sehnerv besteht aus 3 übereinanderliegenden Hüllen, von denen die innerste von der pia mater, die mittlere von der dura mater und die äusserste von der Hirnschalenhaut kommt. Sie bilden in ihren Fortsetzungen den eigentlichen Sehnerv im Auge und zwei Schutzhäute für die Augenteile.

Der Augenknochen hat für die symmetrisch gebauten Augen trichterförmige Höhlungen mit einem Loche am Grunde, durch das der Sehnerv eintritt und sich über die Höhlung wie ein Netz ausbreitet, woher nach Avicenna die Bezeichnung Rete oder Retina rührt[2]). Sie kommt von der pia mater. Nach Avicenna und Constantinus hat sie Vennen, Arterien und feine Nerven. Nach vorne buchtet sich der Sehnerv noch weiter kugelförmig aus, wird dichter und schliesst sich im vorderen Auge bis auf eine kleine Öffnung gegenüber der Eintrittsstelle zusammen. Diese Öffnung heisst Sehloch oder Pupille. Es gleicht das ganze System einer vom Stengel gepflückten Traube, woher die Bezeichnung Traubenhaut (uvea) stammt[3]).

Die mittlere Hülle des Sehnervs, die sich hinter der Netz- und Traubenhaut weiter bildet, führt anfangs die Bezeichnung Secundina[4]) (unsere Choroidea) und besitzt ebenfalls Nerven und Arterien. In der Fortsetzung bis zum vorderen Auge legt sie sich an die Enden der Traubenhaut beim Sehloch an und tritt klar hervor, an Farbe einer hellen Hornmasse ähnlich; daher ihr Name Cornea. Nach Avicenna besteht sie aus drei feinen rindenartigen Plättchen, wodurch besondere Widerstandsfähigkeit gegen schädliche äussere Einflüsse erreicht wird.

Der dritte Teil des Sehnervs endlich, der von der Hirnschalenhaut kommt, verbindet sich im hinteren Teile des Auges mit dem Knochen der Augenhöhle und ist fest und hart, weshalb sie Sklerotica[5]) genannt wird. Der bis zur Hornhaut sich fortsetzende Teil zeigt eine fette, weisse Fleisch-

---

[1]) Die Araber nahmen im allgemeinen eine wirkliche Kreuzung an. Galen war gegen diese Ansicht. Kaufmann: p. 103. Nach neuerer Anatomie ist sie innerhalb der Hirnschale.

[2]) Näh. Hyrtl p. 55; Hirschberg und Lippert . . . p. 13.

[3]) Traubenhaut, uvea ist das System unserer Aderhaut (Choroidea), des Ciliarkörpers (Galen) und der verschiedenfarbigen Regenbogenhaut am vord. Teile der Secundina, Iris genannt, welche Baco nicht eigens unterscheidet. Die Iris gibt dem Auge die Farbe. Mitten in ihr ist die Pupille. Helmholtz l. c. p. 3; Hyrtl p. 55; Kaufmann p. 91. Dass die Pupille im Dunklen sich erweitert, im Hellen sich verengt, finden wir erst bei dem Araber Al-Râzî (nicht bei den Alten) Hirschb. und L. p. 13.

[4]) Entspringt aus der pia mater. Hyrtl p. 57; Kaufmann p. 91. Baco lässt sie aus der dura mater kommen op. mai. II. 15.

[5]) Dieses Wort ist wie „Retina" eine von den Arabern neu gebrauchte Bezeichnung, da sie weder Galenus noch Aristoteles hat. Sie entspringt aus der dura mater. Kaufmann: p. 87 f. Hyrtl. 55 f.

substanz, das Weisse im Auge, und heisst Bindehaut (Consolidativa, Conjunctiva).

2. Feuchtigkeiten[1]).

1. An der vorderen Seite der Traubenhaut dicht hinter der Pupille befindet sich ein kleines zartes Netz, das wie ein Spinnengewebe strahlenförmig aussieht und deshalb tela aranea[2]) heisst. Dieses enthält wie eine Kapsel den Kristallkörper (corpus crystallinum, grandinosum, glaciale). Mit diesem Kristallkörper, der sehr oft Glacealis allein heisst, ist ein zweifaches gemeint: a) Der Glaskörper (humor vitreus), dessen Feuchtigkeit wie geschmolzenes Glas aussieht und sich an die Netzhaut anschliesst. b) Die Linse (anterior glacialis, humor crystallinus u. dgl.). Sie ist hell wie Eis, Hagel und Kristall und schliesst sich nach vorne an den Glaskörper an.

2. Im vorderen Teile des Auges, ausserhalb des genannten Netzes, füllt eine weitere feuchte Substanz, die dem Eiweiss ähnlich ist und humor albugineus, humor aqueus heisst, die Höhlung der vorderen Traubenhaut aus und berührt nach rückwärts die Linse, nach vorne die konkave Rundung der durchsichtigen Cornea.

3. Eigenschaften der Augenteile. — Doppelsehen.

Baco gibt auch eine Zeichnung des Auges[3]) und zwar in allgemeiner geometrischer Form. Die Zentren der kugelförmigen Flächen liegen auf einer Geraden, der sogenannten Seh- oder Augenachse, die durch den Eintrittspunkt des Sehnervs und durch das Sehloch geht[4]).

Die Augenteile weisen sodann die grösste Zweckmässigkeit auf. Die einen sind durchsichtig wie Hornhaut, humor albugineus, Linse, um die Spezies von Licht und Farbe durchzulassen. Die anderen sind feucht, um Verhärtungen zu verhindern. Die Traubenhaut ist nach innen dicht und schwarz, damit das eingefallene Licht stärker wirke. Der Glaskörper ist dichter als die Linse, damit die Strahlen, die auf die Linse fallen und zum Zentrum der Linse hinstreben, nicht in dieses Zentrum gelangen können. Denn sonst würden sie sich dort schneiden, der rechte Strahl ging nach links, der linke nach rechts und das Bild würde verkehrt vom Sehnerv empfunden. Deshalb ist vor das Zentrum der Linse die dichtere Glasfeuchtigkeit gesetzt, damit die Strahlen noch weiter auseinandergelenkt und in ihrer richtigen Lage zum gemeinsamen Sehnerv gelangen[5]). Da die Cornea, humor albigeneus und

---

[1]) op. mai. II. 17 ff. Die Darstellung schliesst sich ganz an Alhazen (Opt. I. 4) u. Avicenna an (Kanon Avic. Inaug.-Diss. von Juan Cueva Berlin 1899 Seite 8 ff.).

[2]) So hiess die von der ora serrata retinae zur Linsenkapsel sich erstreckende zonula zinii, ihres gestrahlten Aussehens wegen, das an das Kreuzspinnennetz erinnert. Hyrtl 55, 58.

[3]) Siehe Bridges: op. mai. II. 24. Perspectiva (Combach) p. 24 u. 27.

[4]) In Wirklichkeit etwas seitwärts von der Eintrittsstelle des Sehnervs, in den sog. gelben Fleck.

[5]) Näheres in No. 4.

Linse kugelförmig sind, so treffen die einfallenden Strahlen alle lotrecht auf diese Teile. Erst beim Glaskörper erfahren sie eine Brechung mit Ausnahme des Achsenstrahles. Durch diese Brechung ist es auch noch möglich, dass einige Teile ausserhalb des Sehkegels ins Auge gelangen, die aber nur schwach und ungenau gesehen werden[1]).

Beim Sehen richten sich die Achsen der beiden Augen, die symmetrisch gebaut sind, auf einen bestimmten Punkt, der dann sicher und deutlich erfasst wird. Je weiter ein Teil von diesem Punkte abliegt, desto schwächer wird er gesehen. Denkt man sich eine Linie vom Hirnschalenloch aus gleichmässig zwischen beiden Augenachsen verlaufend, so treffen beim Deutlichsehen die zwei Augenachsen an ein und demselben Punkt des Objektes zusammen, durch den auch die gedachte gemeinschaftliche Achse geht[2]). Werden jedoch die beiden Achsen nicht auf ein und denselben Punkt gerichtet, so entsteht Doppelsehen[3]).

Dies ist der Fall, wenn ein Auge fehlerhaft gebaut ist, oder wenn es verletzt wurde, oder wenn man das eine mit dem Finger aus seiner natürlichen Lage schiebt. Ausserdem haben wir noch einzelne Fälle, in denen dieses stattfindet. Richten wir z. B. die beiden Augen auf ein Objekt C und entfernen wir sodann einen Teil von C um eine kleine Strecke, so sieht man den entfernten Teil doppelt. Oder[4]): Wir nehmen drei kleine verschiedenfarbige Figürchen und stellen sie auf einem Brett in einer Linie so auf, dass zwei davon nahe an den Enden, das dritte in der Mitte sei. Legt man dann die Augen an den Rand des Brettes und übersieht die Figürchen in gerader Linie, so sieht man, wenn man die mittlere Figur fixiert, die beiden anderen je doppelt. Das kommt daher, dass der eine Gegenstand vor dem Zusammenlauf der Strahlen, der andere hinter demselben sich befindet. Derselbe Grund obwaltet auch, wenn jemand des Nachts seinen Finger zwischen ein Licht und sein Auge hält und das Licht fixiert. Dann sieht er nämlich seinen Finger doppelt. Schliesst er dabei das rechte Auge, so erscheint der Finger mehr links zu sein und umgekehrt. Doppelsehen kann sich auch ergeben, wenn die Sehkraft unruhig und schwankend wird, wie es bei Kranken und Trunkenen vorkommt[5]).

4. Wo und wie kommt das Sehen eigentlich zustande?[6])

Die Sehkraft hat ihren eigentlichen Sitz im Vordergehirn ganz in der Nähe der Kreuzungsstelle der beiden Augennerven. Dort ist gleichsam ihre Quelle und dort ist sie einheitlich, weil sich dort auch die Spezies der Dinge aus den beiden Augen treffen und ein einheitliches Bild bestimmen. Von

[1]) op. mai. II. 47, 146; nach Alhazen I. 7 ff. II. 2—6; 16; III. 2, 3.

[2]) Vgl. Alhazen III. 10.

[3]) Alhazen III. 11.

[4]) ibid. III. 12 dort dieselbe Zeichnung wie bei Baco op. mai. II. 94 ff.

[5]) Avicenna gibt 4 Ursachen für das mehrfache Sehen an: a) Verdrehung des Auges, b) kräuselnde und schwankende Bewegung des Sehgeistes, c) Erschütterung des Sehgeistes, d) Erschütterung der Pupille. Näh. Winter: l. c. p. 52 f.

[6]) Op. mai. 32—34.

dieser Stelle aus geht die Sehkraft auf der Netzhaut zum Auge und setzt sich ganz besonders auf der Linse fest, ohne jedoch auf ihr in vollkommener Weise zu sein wie am Kreuzungspunkt. Auf der Oberfläche der Linse ordnen sich nun die Teile eines Objektes an wie am Objekte selbst und der Sehwinkel überschreitet die Grösse der Linse nicht. Diese Anordnung der Teile wird nun von der Sehkraft der Linse zur Kreuzungsstelle geführt, wo die Wahrnehmung sich vollendet. Das eigentliche Sehen vollzieht sich also ausserhalb des Auges und das Auge ist hauptsächlich Instrument dazu. Daher auch die Tatsache, dass das Sehen aufhört, wenn der gemeinsame Nerv verletzt wird. Aber nicht wird die Kraft im gemeinsamen Nerv gestört, wenn das Auge verletzt wird. Das Auge hat demnach nur unvollständige Sehkraft und unvollständige Wahrnehmung. Würde sich das Sehen im Auge vollziehen, so müssten wir mit beiden Augen verschiedene Wahrnehmungen machen[1]).

5. Bedingungen für das Sehen.

Op. mai. II. 54ff. — Alhazen: Opt. III. 18.

1. Zum Sehen ist vor allem Licht notwendig. Ohne Licht hat keine Farbe ein wirkliches Sein.

2. Distanz. Der Gegenstand darf nicht zu nahe und nicht zu ferne liegen. In Anbetracht der Krümmung der Erde sehen wir auf der Ebene nahezu 3 Millien und auf einem Berge von 8 Millien etwa 250 Millien weit[2]).

3. Das Objekt muss dem Auge gegenüber stehen, was bei den anderen Sinnesorganen nicht notwendig ist.

4. Das Objekt darf nicht zu klein sein; denn da die Spezies der ein-

---

[1]) Baco weicht etwas von Alhazen und Avicenna ab. Diese nahmen nach Galenus die Linse als eigentliches Organ des Sehens. Sie gebrauchen nach ihm auch die Bezeichnung „Sehgeist" (spiritus visibilis), während Baco „Sehkraft" (virtus visiva) hat. Beides wurde durch den Sehnerv in das Auge geleitet gedacht. Die Bezeichnung „Sehgeist" stammt von den Alten, die 3 Geister unterschieden: Den Lebensgeist im Herzen und in den Adern, den organischen Geist, der aus der Leber ausgeht und den Seelengeist, der durch die Nerven (als Röhren gedacht) des Körpers geht. Zu letzterem gehörte auch der Sehgeist, der als Strombett den hohlen Augennerv hat. Vgl. Hirschberg, Augenheilkunde Avic. p. 18. Hirschberg: Gesch. der Augenheilk. p. 129 und Beiträge z. d. Nat.-W. v. E. Wiedemann in Sitz.-Ber. d. phys. Soc. Erlangen 1904. S. 339.

[2]) Nach Alhazens Schrift: de crepusculis. Cf. op. mai. II. 106.; I. 230. Die alten Masse, wie Millien, wechseln sehr bei den einzelnen Nationen und den verschiedenen Zeiten. Baco entnimmt sie aus Alhazen, dieser aus Ptolemäus, der aber 8 Stadien statt 8 Millien hat. Baco nimmt dafür einen Schreibfehler an (I. 230). An dieser Stelle gibt er selbst 2 Masse an: a) 1 Meile = 8 Stad. und sagt, die hohen Berge Italiens und der Kaukasus seien 8 Stadien hoch. (1 Stad. = 125 Fuss nach Plinius; nach anderen 1 Stad. = 600 attische oder 625 römische Schuhe; aber auch der Fuss ist wieder sehr verschieden). b) 1 Stad. = $2^2/_3$ Leuken und daraus 1 Stad. = $5^1/_3$ Meilen.

zelnen Punkte sich auf der Linse anordnen, so unterscheidet sie die Sehkraft nicht mehr, wenn sie zu nahe beisammen liegen. Auch hinsichtlich der Grösse gibt es eine Grenze. Wäre das Auge im Erdmittelpunkt, so würden die Sehstrahlen, die einen Quadranten einschliessen, einen rechten Winkel bilden. Die Erfahrung lehrt aber, dass dies unmöglich sei. Denn fasst man einen Stern im Zenith ins Auge, so kann man zugleich nicht einen im Horizonte sehen [1]).

5. Ein durchsichtiges Medium. Im Vacuum [2]) könnte man nichts sehen, denn die Spezies bedarf zur Fortpflanzung eines materiellen Mediums.

6. Tiefliegende Augen sehen genauer als vorstehende, da die Teile sich näher beim gemeinsamen Nerv befinden, von schädlichen und störenden Einflüssen bewahrt bleiben und die Sehkraft sich nicht so leicht zerstreut. Deshalb hält man auch oft die Hände vor die Augen und bildet gleichsam ein Rohr, wenn man in die Ferne genau sehen will. Darin liegt auch der Grund, warum man von einem Brunnen aus am hellen Tage die Sterne sehen kann. Es wird nämlich das seitliche Licht abgeblendet [3]). Endlich ist auch nach Avicenna bei solchen Augen die wässerige Feuchtigkeit zu viel, welche verdunkelt wie ein tiefes Wasser.

6. Optische Täuschungen.

Vgl. Alhazen: Optik III. — Ptol.: Optik Sermo II.

1.

Schnelle Bewegung und gehörige Entfernung geben einem kleinen Lichte oder leuchtenden Körper eine grössere Ausdehnung als sie in Wirklichkeit haben. Ein Beispiel dafür sind nach Ptolemäus schnell sich bewegende Sterne und die Funken, die vom Feuer aufsprühen [4]).

2.

Wenn man grelle Farben anschaut und sich dann einem hellen Orte zuwendet, so wirken sie noch eine Zeitlang nach. Diese Täuschung entsteht aus dem Überschuss des Lichtes [5]).

---

[1]) Die Landschaftsmaler nehmen als zulässigen Gesichtswinkel 45°—60° an (Bridges). Über die Bedeutung des Schwinkels war man sich im Altertum zu wenig klar. Demokrit und Aristoteles meinten, dass man eine Ameise am Himmel sehen könnte (op. mai. II. 67).

[2]) Vgl. op. mai. II. 67. 525.

[3]) Die Störungen des diffusen Lichtes gelten nur bis zu einem gewissen Grade; im wesentlichen sind sie nebensächlich. Der Bericht des Plinius ist eine Sage, die sich Jahrhunderte lang erhalten hat. Man sieht nämlich in Wirklichkeit nichts, wie zahlreiche Versuche zeigten. — Baco selbst sagt: Das Licht der Sonne wird gemässigt, da nur akzidentale und keine prinzipalen Strahlen zum Auge gelangen, der Stern also durch seine eigenen prinzipalen Strahlen gesehen werden kann. Op. mai. II. 99 f. Liber de speculis 193. — Vgl. E. Wiedemann, Beiträge in Sitz.-Ber. 1904 p. 333 über die dünnere Luft zwischen zwei Wänden bei Ibn al Haitam.

[4]) op. mai. II. 102 f. Alhazen III. 66.

[5]) op. mai. II. 103. Vgl. Arist. De somno et vig. cap. III.

3.

Betrachtet man ein Ding durch ein feines bemaltes Tuch mit kleinen Poren, so erscheint die Farbe des Gegenstandes mit den Farben des Tuches gemischt. Das kommt daher, dass durch die Poren des Tuches sowohl die Farben des Gegenstandes als auch der Fäden des Gewebes zum Auge gelangen. Da nun das Gewebe enge ist, so nähern sich die Farbenspezies des Objektes und der Fäden bis auf eine nicht mehr zu unterscheidende Distanz [1]).

4.

Befinden sich zwischen Auge und Objekt keine Gegenstände, so erfolgen leicht Distanztäuschungen [2]). Visiert man z. B. über eine Mauer hin auf eine andere in grösserer Entfernung dahinterstehende, so unterschätzt man in der Regel deren Entfernung, wenn keine vermittelnden Gegenstände dazwischen liegen. Ebenso überschätzt man die Höhe der Wolken, wenn man sie von einer Ebene aus betrachtet und kein höherer Berg sich in der Nähe befindet. Und so beurteilen wir auch die Entfernung der Sterne falsch [3]).

5.

Eine Figur mit vielen gleichen Seiten erscheint in grosser Entfernung kreisförmig; ein Bogen, dessen Krümmung oder Höhlung dem Auge zugewendet ist, repräsentiert sich als gerade Linie, eine Kugel als Scheibe. Beim Monde zeigt sich am 7. und 21. Tage das Stück eines Kugelkreises als gerade Linie. Die Gestirne erscheinen als Scheiben, obgleich sie Kugeln sind. In grosser Entfernung kann nämlich das Auge nicht wahrnehmen, dass die Teile ungleiche Entfernung haben [4]).

6.

Ausser dem Sehwinkel kommt zur Bestimmung der Grösse eines Objektes auch die Lage der Teile, die Proportion des vom Gesichtswinkel eingeschlossenen Teiles zum ganzen Objekt und die Entfernung von der Spitze des Sehkegels in Betracht [5]). Nehmen wir z. B. in einem Kreise mehrere Durchmesser an und besehen wir sie in der Richtung der Kreisebene, so erscheinen sie ungleich, da sie unter verschiedenen Sehwinkeln gesehen werden. Ähnliches kann man an den Seiten eines Quadrates beobachten. Auch bei Distanzveränderungen ändern sich die Sehwinkel schnell und bedeutend, obgleich dies dem Auge bei weitem nicht so stark auffällt. Der Sehwinkel allein kann also zur Grössenwahrnehmung nicht ausreichen, wie dies Euklid und andere meinten.

---

[1]) op. mai. II. 105. Vgl. Alhazen: „Über das Licht". E. Wiedemann Annalen 1883 p. 340.

[2]) Op. mai. II. 106. Alhazen: Opt. III. Buch 25, 26.

[3]) Op. mai. II. 106. Alhazen: III. 23, 34.

[4]) Op. mai. II. 108. Alhazen: Opt. III. 25—59. Euklid: Opt. Satz 9, 22, 25. Ptol. Opt. Serm. II. p. 30f.

[5]) Alhazen: Opt. III. 24, 26, 36, 37; op. mai. II. 114ff.; Euklid 35—39.

7.

Das Auge hält öfters ein Ding für bewegt, während es in Ruhe ist und nur Gegenstände in der Nähe sich bewegen. Dies kommt daher, dass das Auge eine Bewegung nur durch Lagenveränderung des Objekts bezüglich seiner Umgebung wahrnimmt. So meint man oft, der Mond bewege sich, während Wolken über ihn herziehen. Und wenn man dem Monde oder einem Sterne entgegengeht, so kommt es einem vor als bewegte er sich mit derselben Geschwindigkeit, mit der man geht. Wir nehmen nämlich keine Änderung des Abstandes von Auge und Gestirn wahr und dies ist öfters die Ursache von optischen Täuschungen[1]).

8.

Dreht sich jemand mehrmals im Kreise und bleibt dann stehen, so setzen die umliegenden Gegenstände die Kreisbewegung scheinbar noch eine Zeitlang fort. Es kommen eben die Feuchtigkeiten des Auges wie ein bewegtes Wasser nicht sogleich in Ruhe. Deshalb ist auch die Spezies der Dinge noch länger im Schwanken. Ähnliches findet sich, wenn man auf einem Schiffe fährt und Bäume und was sonst am Ufer ist, sich fortzubewegen scheinen, während man die Bewegung des Schiffes nicht wahrnimmt. Dieser Eindruck ist um so stärker, je weiter die Gegenstände auf der Sehachse entfernt sind. Die Sehstrahlen folgen nämlich der Bewegung des Auges[2]).

9.

Nach Ptolemäus scheinen die verschiedenen Farben eine einzige zu sein. Denn bei grosser Entfernung eines mehrfarbigen Gegenstandes sehen wir nur eine einzige Farbe und zwar deshalb, weil die Winkel, unter denen die einzelnen Farben gesehen werden, unmerklich klein sind, die Teile sich also zusammendrücken und sich nicht mehr unterscheiden. Dasselbe findet nach Ptolemäus beim farbigen Kreisel statt. Hier verweilt ein Strahl nicht auf ein und derselben Farbe, sondern nacheinander auf mehreren, weshalb keine Unterscheidung mehr möglich ist und der Eindruck einer einzigen Farbe sich ergibt, die aus allen gemischt zu sein scheint[3]).

10.

Das Funkeln der Sterne[4]).

Beim Auf- und Untergang der Fixsterne zeigen diese häufig unruhiges Licht, gleich als ob sie Funken aussprühten oder als wollten sie von Feuer

---

[1]) Op. mai. II. 117 ff. Alhazen III. 28. Vgl. Ptol. Opt. Serm. II. p. 33 ff.

[2]) Op. mai. II. 119. Alhazen III. 39, 70.

[3]) Ptol. Opt. p. 40 f.; vgl. p. 74; op. mai. II. 103. Ganz nach Alhazen, Opt. III. 67. 70.

[4]) Op. mai. II. 120. Aristot. de Coelo II. 8 § 6. —

Das diamantähnliche Funkeln der Fixsterne in verschiedenen Farben erklärt sich nach Arago aus dem an verschiedenen Stellen ungleichen

überfliessen, wie eine Wachskerze das Wachs auswirft. Die Planeten tun das nicht, wie schon Aristoteles bemerkte. Dieser erklärt die Erscheinung aus der scheinbar grösseren Entfernung am Horizonte als im Zenith, wodurch das Auge unruhig werde und hin und her schwanke. Averroes[1]) nimmt auch die Dichtigkeit des Mediums und die Lichtstärke des Objekts mit als Ursache dieser Erscheinung an. Auch die Bewegung des Gestirnes, sagt er, trage dazu bei. Die Spezies, die von einem bewegten Teile ausgehe, verschwinde nicht sofort, wie wir bei einem bewegten Wasser sehen, auf welches Licht fällt. Auch Ptolemäus, sagt Baco, ist dieser Ansicht. Averroes betont auch noch die Erschöpfung der Sehkraft, d. h. die Ermüdung des Auges. Es sei ja der Eindruck vorhanden, als ob man das Auge schnell schliesse und öffne, wodurch kurze Unterbrechungen eintreten. Schliesslich könnte auch noch die Bewegung des Mediums, der Dämpfe, der Luft und des Himmels zu dieser Erscheinung beitragen.

4. Kapitel.

Reflexion (Katoptrik).

Op. mai. I. 114ff.; II. 131—146; 463—466; 478—490; 538f. op. III. 112ff.
Alhazen: Optik IV. B.

Theorie[2]).

Obwohl kein Medium so dicht ist, dass es jeder Spezies ganz und gar den Durchgang versagen könnte, so hat dies doch für die Sinneswahrnehmung eine Grenze. Es gibt Medien, deren Teile so dicht beisammen liegen, dass ein Strahl, der auf sie fällt, abprallt und in das erste Medium zurückkehrt, was man Reflexion heisst. Härte und Festigkeit des Mediums sind dabei

---

Brechungsvermögen der Atmosphäre. Die Fixsterne sind so weit entfernt, dass sie selbst dem mächtigsten Fernrohre als blosser Lichtpunkt erscheinen. Jeder Strahl eines solchen Punktes (in Wirklichkeit einer riesigen Masse) verfolgt in der Atmosphäre eine andere Bahn, so dass sie gegeneinander leicht Verzögerungen erleiden. Daher durch Interferenz die verschiedenen Farben. Die Verzögerung wechselt stets durch Temperatur, Feuchtigkeit und Dichte der Luft, daher die Unruhe des Sternes. Bei den Planeten, die schon dem blossen Auge als Scheibchen erscheinen, kommt das nicht so zur Geltung; die von den einzelnen Lichtpunkten ausgehenden und interferierenden Strahlen, vermischen sich im gesamten Bilde wieder zu weissem Licht. Am Horizonte zeigt sich das Funkeln stärker als in der Höhe, weil die Strahlen in der Atmosphäre einen längeren Weg zu durchlaufen haben.

[1]) II. B. de coelo et mundo.

[2]) Baco zitiert für seine Erläuterungen: Ptolemäus II. B. der Aspekte; Averroes; Alhazen IV. B., dessen Buch über die Brennspiegel und Jakob. Alkindi: ‚de Aspectibus'. — Vgl. Herons Katoptr. (Nix) II, 1. p. 323ff.

nicht massgebend, denn wir sehen beim Glase und Kristall[1]), die doch fest und hart sind, dass sie der Spezies den Durchgang vorzüglich gestatten. Manche Medien haben eine mittlere Dichte, so dass die Spezies teils gebrochen hindurchgeht, teils an der Oberfläche reflektiert wird, wie es beim Wasser und auch bei den Glas- und Kristallflächen der Fall ist. Ein dichtes Medium (Densum), das die Spezies nicht durchlässt, ist dann entweder rauh (asperum) oder glatt (politum). Die Teile eines rauhen Körpers haben unter sich keine Einförmigkeit und darum hat jeder Teil seine besondere Reflexion. Die Folge davon ist, dass kein Strahl unversehrt zum Auge gelangt und deshalb keine deutliche Reflexion entsteht und kein Spiegelbild. Man sagt die Spezies zerstreue sich[2]). Dabei dringt auch viel Licht in die Poren der rauhen Fläche ein. Bei einer glatten Fläche hingegen herrscht Gleichheit aller Teile und diese stimmen deshalb zu einer einheitlichen Wirkung zusammen. (Regelmässige Reflexion.) Endlich darf man sich die Reflexion nicht wie manche alten Autoren so vorstellen, als ob sich die Spezies auf der glatten Form abbildeten und dort gleichsam eine Makel zurückliessen, von der aus das Bild zum Auge gelangt. Denn dann müsste man das Bild stets an derselben Stelle im Spiegel sehen, was gegen die Erfahrung ist, die lehrt, dass das Bild bei jeder Veränderung des Beobachtungsortes seinen Platz verändert[3]) und zwar nach dem Reflexionsgesetze, welches lautet: „Einfalls- und Reflexionswinkel sind stets gleich" und „die Ebene des einfallenden und gebrochenen Strahles steht senkrecht auf der Spiegelebene"[4]). Dabei gilt als Einfallswinkel, der zwischen einfallendem Strahl und Spiegelebene liegende und als Reflexionswinkel der Winkel zwischen austretendem Strahl und Spiegelebene[5]). Man kann sich dieses Gesetz auf folgende Weise klar machen. Nehmen wir an, der einfallende Strahl bilde mit dem Spiegel einen gewissen Winkel. Verlängert man den einfallenden Strahl hinter dem Spiegel, so entsteht auch dort derselbe Winkel. Der Strahl geht aber nicht hindurch, sondern wird so reflektiert, dass er auch vor dem Spiegel denselben Winkel bildet. Jacobus Alkindi und Euklid denken sich den auf den Spiegel fallenden Strahl durch den Spiegel hindurch verlängert und mit Beibehaltung des Winkels um die Schnittlinie der Spiegelfläche mit der Einfallsebene ge-

---

[1]) Hier und im folgenden tritt das Wort „Kristall" öfters auf. Ob damit Bergkristall oder welche besondere Glasart damit gemeint ist, sagt Baco nicht.

[2]) Alhazen: Opt. IV. 17, 20; Cf. „Über das Licht" von Baarmann und E. Wiedemann in Annalen d. Phys. 1883, p. 342: „An allen durchsichtigen Körpern ist eine gewisse Undurchsichtigkeit, welche diffuses Licht an der Oberfläche und im Innern reflektiertes Licht aussendet."

[3]) Avicenna nahm an, dass das Bild im Spiegel reell sei. (Vgl. Kaufmann: Über die Sinne p. 113). Qazwînî: Was man im Spiegel sucht, hat keine reale, wirkliche Existenz . . . vgl.: Ethé: Qazwînî: p. 204/205 und 202.

[4]) Op. mai. II. 482f.; Alhazen: Opt. IV. 109.

[5]) Op. mai. II. 482. Einfalls- und Reflexionsstrahl bilden zusammen einen Strahl (radius conversus). (Alhaz. im Buche über d. Brennsp.).

dreht, wodurch vor dem Spiegel der Reflexionswinkel entsteht. Haben wir anstatt eines ebenen Spiegels einen Konvex- oder Konkavspiegel, so können wir uns im Einfallspunkt einen Planspiegel als Tangentialebene denken, den vorhergehenden Satz anwenden und die Winkel zwischen Spiegeloberfläche und Tangentialebene subtrahieren resp. addieren[1]). Das Reflexionsgesetz gilt auch für den Fall, dass der Strahl lotrecht auf den Spiegel fällt. Dann fällt eben der reflektierte Strahl mit dem einfallenden zusammen, so dass sich dieser gleichsam verdoppelt.

Der Beweis für das Reflexionsgesetz ergibt sich aus der Erfahrung. Das Auge sieht nämlich einen Gegenstand durch Reflexion nur an einer bestimmten Stelle, nämlich in der Richtung, die mit dem Spiegel denselben Winkel wie der einfallende Strahl einschliesst. Misst man die Lote vom Objekt und vom Auge auf den Spiegel, so kann man (wie schon Euklid[2]) gezeigt hat), zwei Dreiecke finden, aus deren Ähnlichkeit oder Kongruenz das Reflexionsgesetz folgt[3]).

Apparat zur Manifestation des Reflexionsgesetzes[4]).

Alhazen gibt im 4. Buche seiner Optik Nr. 7 eine ausführliche Beschreibung und Zeichnung eines Apparates zum Nachweis des Reflexionsgesetzes. Auch Baco kennt diese Vorrichtung und beschreibt sie kurz. Hören wir die arabische Quelle: Man nehme einen hohlen Kreiszylinder von etwa $1^1/_2$ Fuss Höhe und $^1/_2$ Fuss Weite, oben offen, unten mit einer Basis, auf welche man einen Spiegel stellen kann. Unter dem Spiegel, der aufrecht in der Röhre steht, sei ein in gleiche Teile geteilter Kreisquadrant aus Metall so angebracht, dass der Bogen des Quadranten die Zylinderwand berühren möge. Auf der Zylinderwand werden nun kleine Löcher längs einer Kreislinie des Mantels gebohrt, in welche die Lichtstrahlen einfallen können. Zunächst werden alle bis auf eines geschlossen. Das Licht fällt in der Richtung zum Mittelpunkt ein, reflektiert am Spiegel und kommt zu einem bestimmten Loche, das man öffnet. Auf dem eingeteilten Kreise kann man sich dann leicht von der Gleichheit des Einfalls- und Reflexionswinkels überzeugen. Auch kann man sehen, wie der senkrechte Strahl in sich selbst reflektiert. Indem man in den Zylinder nacheinander alle Arten von Spiegeln bringt, kann man das Reflexionsgesetz für alle diese Spiegel demonstrieren.

---

[1]) Euklid: Katoptr. prop. 1.
[2]) Ibid.
[3]) Op. mai. II. 485.
[4]) Op. mai. II. 483; I. 114.

Folgerungen und Beispiele.

1.

Aus dem Reflexionsgesetze folgt vor allem, dass das Mond- und Sternenlicht nicht, wie die meisten glaubten, reflektiertes Sonnenlicht sei[1]). Sonst müssten bei der Gleichheit von Einfalls- und Reflexionswinkel die Sonnenstrahlen immer nur auf einen ganz bestimmten Teil der Erde reflektiert werden, so dass nur ein gewisses Gebiet beleuchtet würde. In Wirklichkeit erhellt aber der Mond die ganze Hemisphäre wie die Sonne. Auch müssten wir sonst im Lichte der Gestirne oder in einem Kometenschweife das Sonnenbild wie in einem Spiegel sehen. Deshalb muss man mit Averroes[2]) annehmen, dass Mond und Sterne ein eigenes, auf natürliche Weise durch die Kraft des Sonnenlichtes erzeugtes Licht haben und zwar hervorgerufen aus der Potenz der Materie des Gestirns. Die Kraft der Sonne wirkt auf das Gestirn und erzeugt das Leuchten und so sendet dann der Stern nach allen Seiten hin sein Licht aus wie die Sonne. Nebenbei kann der Mond auch noch durch Reflexion nach irgend welcher Richtung Licht entsenden, aber nicht auf die Erde[3]).

2.[4])

Refraktion und Reflexion zugleich finden wir z. B. beim Wasser ganz deutlich. Fische, Steine u. s. w. sehen wir im gebrochenen, Sonne und Mond in reflektierten Strahlen.

3.[5])

Stellt man einen Spiegel ins Wasser, so erscheint ein zweifaches Sonnenbild. Dies kann nicht, wie manche glauben, von einem Fixstern oder Planeten in der Nähe der Sonne herrühren, da es sich ja auch beim Monde und jedem leuchtenden Gegenstande zeigt. Wir haben hier einfach ein doppeltes Reflexionsbild eins vom Wasser und eins vom Glasspiegel, der mit Blei belegt ist. Manche halten das vom Wasserspiegel erzeugte Bild für grösser und deutlicher, es ist aber das durch den Glasspiegel entstehende heller, weil dieser besser wirkt als der Wasserspiegel.

---

[1]) Baco schwebte hierbei die falsche mittelalterliche Ansicht vor, dass die Oberflächen der Gestirne glatt wie ein Spiegel seien. Die diffuse Reflexion, die überhaupt die Gegenstände sichtbar macht, wäre die richtige Erklärung gewesen.

[2]) Aristolis Stag. de Coelo libri cum Averrois . . . in eosdem Commentarii. Venet. MDL. Lib. II. Vol. V § 49, fol. 62.

[3]) Baco kommt öfters darauf zu sprechen. Vgl. op. mai. I. 129; II. 133, 415, 486. Op. III. 118. Vgl. III. Abschn. unserer Abhandlung Kap. 2, 1. E. Wiedemann schrieb: „Über den Nachweis, dass die Sterne mit Ausnahme des Mondes eigenes Licht haben von Alhazen.“ Wochenschr. f. Astron., Meteorol. und Geol. 1890 Nr. 17. Die Sterne sind nach Alhazen Selbstleuchter, da sie sonst Phasen zeigen müssten.

[4]) Op. mai. II, 478.

[5]) Op. mai. 144f.

Dasselbe Beispiel bringt auch Vitello[1]), aber mit einer schlechten Erklärung: Auf das Wasser, sagt er, fallen gewisse Strahlen senkrecht, gewisse schief. Die senkrechten verursachen ein Bild im Wasser durch Reflexion; die schiefen werden gebrochen und können von einem schief ins Wasser gestellten Spiegel reflektiert werden. Daher zwei Bilder. Das erstere ist grösser als das zweite. Letzteres wird gesehen, wie wenn der Sonne ein Stern folgte, was aber nicht der Fall ist.

4.[2])

Bilder beim zerbrochenen Spiegel.

Beim zerbrochenen Planspiegel entstehen nur dann so viele Bilder als Scherben vorhanden sind, wenn die einzelnen Teile nicht mehr dieselbe Lage wie im unverletzten Zustande haben. Haben sie dieselbe Lage, so entsteht wie beim ganzen Spiegel nur ein einziges Bild.

5.[3])

Funkeln der Turmkreuze.

Das Funkeln der Turmkreuze, die mit Electrum[4]) überzogen sind, erklärt Baco aus der Veränderung des Einfalls- und Reflexionswinkels, welche die Bewegung der Sonne stetig verursacht. Der Vorgang sei ähnlich wie bei einem Rade. Ist ein solches in Bewegung, so sieht das Auge die Speichen in der Nähe des Zentrums viel stärker bewegt als an der Peripherie. Sind nun die Speichen die Strahlen, die Peripherie der bewegte Himmel und denken wir uns die Erde oder das Turmkreuz im Zentrum des Rades, so werden die reflektierten Strahlen, die uns nahe sind, eine merkliche Bewegung machen, während wir die Bewegung der Sonne nicht wahrnehmen.

6.[5])

Mehrfache Bilder entstehen ausser den bereits genannten Beispielen noch in folgenden Fällen:

---

[1]) Optik, Ausgabe von Risner X. B. p. 85.

[2]) Op. mai. II. 145, 481.

[3]) Op. mai. II. 144.

[4]) Über Electrum vgl. op. min. 385 f. und das Kapitel über Elektrizität uns. Abh. — Das Funkeln möchte sich vielleicht durch Reflexion der Sonnenstrahlen erklären, die durch die Dämpfe und Dünste am Abend und besonders nach Regen mannigfache Verzögerungen erleiden. Vgl. Funkeln der Fixsterne Kap. 3, Nr. 10 uns. Abh.

[5]) Op. mai. II. 164 ff. Dieselben Beispiele wieder in d. Schrift de secretis operibus . . . p. 534. Vgl. auch Op. III. p. 116 f. In der Schrift de secret. . . . 534 perspicua specula statt specula. Vgl. E. W. in Annal. d. Ph. 39. p. 130.

1. Beim Winkelspiegel. Durch diesen wird ein Mann mehrfach und ein Heer wie mehrere gesehen[1]).

2. Nach Plinius wurden Sonne und Mond doppelt am Himmel gesehen. Dies war nur dann möglich, wenn reichliche Dampfschichten in verschiedenen Lagen vorhanden waren, die gleichsam einen Spiegel bildeten[2]).

3. Es können auf hohen Bergen Spiegel gegenüber von feindlichen Staaten und Heeren aufgestellt werden, so daß, alles was dort geschieht, wahrgenommen werden kann. Und das kann bei jeder Entfernung geschehen.

Man hat bei dieser Stelle an das Spiegelteleskop gedacht, was aber unmöglich ist[3]); denn Baco erklärt die Sache wie folgt: Nach Euklid kann ein und derselbe Gegenstand durch so viele Spiegel gesehen werden als man will, wenn sie nur in der rechten Lage aufgestellt werden. Und man kann sie näher oder entfernter anordnen, um den Gegenstand in der Entfernung zu sehen, in der man will.

So soll Julius Cäsar bei der Eroberung Britanniens an der gallischen Küste sehr grosse Spiegel aufgestellt haben, womit er die Städte und Lager Englands erforschte[4]).

Baco meint vielleicht, dass man durch Aufstellung von grossen Spiegeln in gewissen Abständen und so, dass ein Spiegel dem andern das Bild übermittelt, einen entfernten Gegenstand sehen könne. Dabei würde er aber ausser acht lassen, was er an einer anderen Stelle[5]) betont, wo er schreibt:

Durch Reflexion wird das Bild geschwächt, und mit der Distanz eines Gegenstandes vom Spiegel verschwindet auch das Bild selbst, so in der Entfernung von 1500 Schritten von einem grossen Spiegel, weshalb man sich auch in den Wolken oder in einem tiefen Wasser nicht sehen könne[6]).

Das Beispiel von Cäsar dürfte übrigens auf einem Missverständnis beruhen. Denn im Bellum Gallicum findet sich davon nichts; wohl aber ist die Rede von navigia speculatoria (was Spähschiffe waren, die zur Erkundigung aufgestellt wurden), die Baco vielleicht als „Spiegelschiffe", d. h. mit Spiegeln zur Erforschung ausgerüstet, angesehen hat[7]). Wir sehen, dass Bacos Mitteilungen hier

[1]) Nach Euklid. Katoptr. 14. Auch für Hohlspiegel 15. Vgl. Herons Katoptr. (Nix) II, 1. p. 345 ff.

[2]) Plinius meint wohl die Erscheinung, die wir als Nebensonne und Nebenmonde bezeichnen.

[3]) E. Wiedemann Ann. d. Phys. 39, p. 130.

[4]) Das Beispiel findet sich wieder in der Schrift de secret. op. art. l. c.

[5]) Op. mai. II. 143.

[6]) Heller: Gesch. d. Ph. p. 201 nimmt Hohlspiegel an, was aus dieser Stelle nicht ersichtlich ist.

[7]) Cäsar de bello Gallico 4. B. Kap. 8 und Kap. 26. 4.

phantastischer Natur sind, was besonders auch aus einem Beispiel von der Tötung eines Drachens durch Socrates mittelst reflektierter Strahlen hervorgeht[1]).

5. Kapitel.

Die Spiegel.

Die Gesetze der Reflexion finden ihre praktische Anwendung bei den Spiegeln. Der Gebrauch derselben sowohl als Toilette- wie auch als Brennspiegel lässt sich bis in die älteste Zeit hinauf verfolgen[2]). Sie wurden anfangs hauptsächlich aus Metall hergestellt. Berühmt waren später die von Brundisium aus Zinn und Erz. Vitruvius und Plinius erwähnen Silberspiegel. Glasspiegel werden ebenfalls von Plinius, dann von Alexander von Aphrodisias und Isidor von Sevilla genannt. Sie sollen in Sidon erfunden worden sein. Die Glasspiegel waren aber noch unfoliert und können keine sehr deutlichen Bilder gegeben haben[3]). Was die Art der Spiegel betrifft, so kannte man schon frühzeitig neben dem ebenen auch convexe und concave Spiegel. Apulejus unterscheidet feuchte und trockene (uda und suda), convexe und kugelförmige (tumida und globosa)[4]).

Die Araber bezeichneten Spiegel aus Stahl oft als indische Spiegel, indem das Wort Hind, das ursprünglich Indien bezeichnet, auch für Stahl gebraucht wurde, den man aus Indien bezog[5]). Besonders wurden Hohlspiegel aus Stahl gefertigt. Von Interesse ist, dass das Wort „indischer Spiegel" in Nordafrika für Teleskop gebraucht wird.

In der scholastischen Zeit begegnen uns belegte Spiegel zuerst bei Vincenz von Beauvais und zwar hält er die mit Blei unterlegten Glasspiegel für die besten. Die Bleibelegung ist dann auch in Peckhams Perspektiva, bei Raymundus Lullus, St. Antonius von Padua[6])

---

[1]) Dasselbe Beispiel in der Schrift de secretis op. art. et nat. p. 535.

[2]) Hilprecht H. Ausgrab. in Babylonien (1904) p. 149. Moses: Ex. 38, 8 Aus den Spiegeln der Frauen wurde das eherne Waschbecken gemacht. Vgl. Is. 3, 23.

[3]) Poggendorf: Gesch. d. Ph. p. 20. Günther in J. Müllers Handb. p. 57.

[4]) Apulejus: Apologia Kap. 16.

[5]) Supplément aux Dictionnaires Arabes par R. Dozy. 2 Bd. Berlin 1877. 765 f.

[6]) Vgl. Poggendorf: Gesch. d. Ph. p. 93.

und Roger Baco erwähnt[1]). Letzterer spricht auch von Spiegeln aus Erz, gutem Stahl und Silber[2]).

Als Spiegelarten finden sich bei den Gelehrten des Mittelalters unterschieden der Planspiegel, der sphärische, säulen- und kegelförmige Hohl- und Konvexspiegel und als speziellste Art der parabolische Hohlspiegel.

Gehen wir nun zur Behandlung der einzelnen Spiegelgattungen durch Baco.

1.

Der Planspiegel[3]).

Bei diesem zeigen die Bilder die geringste Abweichung von der Wirklichkeit. Was rechts ist, erscheint links, und was oben ist, unten[4]). Das Bild entsteht auf der Kathete[5]), d. h. auf dem Lote, das man von einem Punkte des Objekts auf die Spiegelebene fällt. Dabei ist das Bild gerade so weit hinter dem Spiegel als das Objekt vor demselben, wie sich aus dem Reflexionsgesetz und einfacher mathematischer Betrachtung ergibt.

2.

Der Konvexspiegel.

Auch beim Konvexspiegel sieht man einen Gegenstand im Schnittpunkte der Kathete mit dem Sehstrahl[6]). Die Kathete ist hier die Linie, die von einem Objektpunkte durch den Mittelpunkt der Kugel gezogen ist. Dieser Schnittpunkt fällt über den Spiegel hinaus oder in die Kugel hinein oder auf die Oberfläche. Die Bilder zeigen im allgemeinen die Abweichungen des Planspiegels. Dazu kommt aber noch, dass das Bild kleiner ist als das Objekt, (sehr selten gleich oder grösser[7]). Kleiner ist es deshalb, weil die Oberfläche sehr zusammengedrückt ist im Vergleich zum Planspiegel. Hierdurch werden die reflektierten Strahlen auseinandergelenkt. Damit sie ins

---

[1]) Op. mai. II. 145.

[2]) II. 483; I. 115.

[3]) Op. mai. II. 134ff. De secretis operib. 534f. Vgl. Alhazen, Opt. VI. 2. 3.

[4]) Euklid: Katoptr. th. 19.

[5]) Baco sagt: Das Bild entsteht im Schnitte der Kathete mit dem Sehstrahl (radius visualis). Dieser ist nichts anderes als der zum Auge reflektierte Strahl, auf welchem das Objekt gesehen wird, da das Auge nach gerader Richtung zu sehen gewohnt ist.

[6]) Alhazen V. 3. 16; Op. mai. II. 136.

[7]) Dies beruht auf Alhazen VI. 6, wo dies bei unmässiger Entfernung des Objektes vom Spiegel eintreten soll: Eine über 6 Folioseiten lange math. Explikation, die Alhazen, wie er am Schlusse sagt, selbst erfunden hat. Vgl. Vitello Opt. VI. 38.

Auge gelangen, muss die Reflexion von einer schmäleren Oberfläche ausgehen. Die Krümmung verursacht dann auch zahlreiche Verzerrungen. Eine gerade Linie wird zum Bogen, ausser wenn sie durch das Zentrum der Kugel geht, eine krumme zeigt sich noch mehr oder weniger gebogen[1]. Ähnlich wirken die konvexen Säulen- und Kugelspiegel[2]).

3.

Der sphärische Hohlspiegel.

Op. mai. II. 137—141; 487f.; I. 115; Op. III. 45. 112. Tractatus de speculis (Combach) p. 168ff.

Weitaus wichtiger als die genannten Spiegelarten sind die Hohlspiegel, und zwar wegen ihrer Eigenschaft als Brennspiegel. Es können sich nämlich bei diesen Spiegeln unzählige Strahlen in einem Punkte vereinigen, so dass eine Stelle entsteht, wo leicht brennbare Stoffe zur Entzündung kommen. Dies ist bei einem ebenen Spiegel nicht möglich, da jeder einzelne Strahl nach einer eigenen Richtung hin reflektiert. Auch der Konkavspiegel vollbringt dies nicht, weil er die Strahlen zerstreut. Nur der Konvexspiegel in all seinen Formen: der sphärische, säulen-, kegel-, ringförmige und der ovale d. i. parabolische ist dazu befähigt.

In der Behandlung der Hohlspiegel ist sich Baco in seinen Schriften nicht durchwegs gleich geblieben. Wir gewahren vielmehr einen deutlichen Fortschritt in den späteren Abhandlungen gegenüber den früheren. So geht er im Anfange der Schrift de speculis (Combach), von der sicher die zwei Anhänge späteren Datums[3]) sind, von Euklid aus. Es werden die zwei Ansichten[4]) erörtert, wonach der Brennpunkt sowohl im Mittelpunkt des Hohlspiegels als auch zwischen Mittelpunkt und Achsenpol liegen kann.

In den Mittelpunkt, sagt Baco, können nur jene Strahlen fallen, die von den einzelnen Sonnenpunkten ausgehen, während zu dem eigentlichen Brennpunkt diejenigen gelangen, welche von der Sonne wie von einem einzigen Punkte kommen Die Wirkung im ersten Falle sei gegenüber der im zweiten sehr schwach, ja komme gar nicht in Betracht.

Baco nimmt hier die Sonnenstrahlen noch nicht parallel[5]),

---

[1]) Vgl. Alhazen Opt. VI. 4. 5. Euklid: Katoptr. 20. 21.

[2]) Alhazen V. 4.

[3]) Was Baco selbst bemerkt.

[4]) Euklid macht in der Katoptrik prop. 31 die beiden Annahmen, dass der Brennpunkt der Mittelpunkt sei oder zwischen Mittelpunkt und Achsenpol falle. Auch Alhazen hat, wie man aus den Büchertiteln schliessen kann, diese Frage zweimal behandelt.

[5]) In op. mai. I. 126; II. 118. 497 lehrt Baco, dass die Sonnenstrahlen philosophisch nicht für parallel, praktisch jedoch für parallel gelten können.

sondern lässt sie nur im ersten Fall von verschiedenen Punkten, im zweiten von einem einzigen auf den Spiegel gelangen.

Auch im opus maius werden die Strahlen noch nicht parallel gezeichnet, sondern von einem Punkte aus auf den Spiegel gezogen[1]). Doch ist von einem Brennpunkt im Mittelpunkt der Spiegelfläche nicht mehr die Rede. Ganz nach Alhazen heisst es dann, dass sich nicht alle Strahlen, die auf einen sphärischen Hohlspiegel fallen, in einem einzigen Punkte sammeln, sondern nur die, welche von einem Kreisringe reflektiert werden, dessen Ebene senkrecht zur Achse steht. Auf einen solchen Kreis fallen nämlich die Strahlen unter gleichem Winkel ein und werden auch unter gleichem Winkel reflektiert. Diejenigen Strahlen, die auf einen kleineren derartigen Kreisring fallen, reflektieren zu einem Punkte, der weiter vom Achsenpole entfernt ist, und die vom grössten Kreise reflektierten treffen zunächst beim Pole ein. Fallen die Strahlen gerade auf den vierten Teil eines Kreises, der durch die Pole gelegt ist, so treffen die reflektierten gerade in den Achsenpol (nach der Gleichheit von Einfalls, und Reflexionswinkel).

Erst am Schlusse der Schrift de speculis folgt Baco der Abhandlung Alhazens „über die Brennspiegel“[2]):

Die Sonnenstrahlen kommen parallel auf den Hohlspiegel, und der Ort, an dem sich die reflektierten Strahlen sammeln, ist von der Spiegeloberfläche nicht um die Hälfte des Kugelradius des Spiegels entfernt.

Gehen wir nun zu den Spiegelbildern[3]). Auch diese behandelt Baco im Anschluss an Euklid und Alhazen[4]).

Beim sphärischen Hohlspiegel, sagt er, findet eine grosse Abweichung der Bilder von der Wirklichkeit statt, indem sie bald grösser, bald kleiner, bald gleich sind, dann einfach, mehrfach bis zur höchsten Zahl von 4 Bildern[5]) erscheinen, dann wieder in aufrechter oder verkehrter Lage. Gerade Linien bleiben dabei entweder gerade oder zeigen sich gebogen, konvexe können wieder konvex, aber auch konkav erscheinen und konkave trifft man manchmal konvex. Dabei ist zu bemerken, dass alle Untersuchungen darauf hinausgehen, festzustellen, wo der Einfalls- und Reflexionswinkel gleich sein kann und wie viele solche Punkte vorhanden sind. Ist die Kathete mit dem Sehstrahl parallel,

---

[1]) Seltsamerweise sogar vom gegenüberliegenden Achsenpol

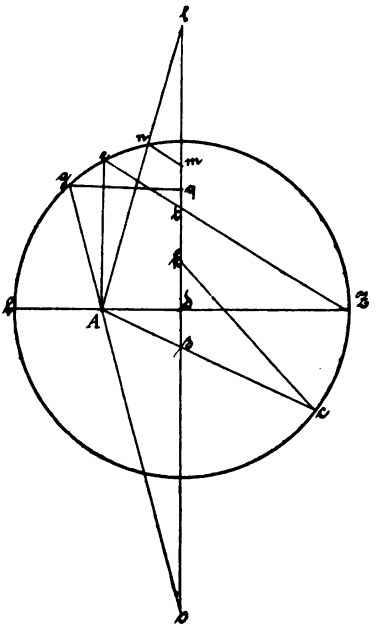
[2]) Diese Schrift ist eingehend von E. Wiedemann in Annalen d. Ph. 39, p. 116ff. behandelt. — Baco weist dabei selbst auf den Autor des Buches ‚de speculis comburentibus‘ hin.

[3]) op. mai. II, 137.

[4]) Alhazen: Optik V. 60—65; 70—72; VI. 38—50; 50—56; Vitello VIII. 24 - 26; Euklid: Opt. 25—30.

[5]) Wie das zu verstehen sei, ist bei Alhazen, Opt. V, 72 zu sehen, wo auf einem Durchmesser im Innern einer Hohlkugel die Punkte in math. Weise konstruiert sind, welche 4 Bilder . . . liefern. Vgl. Euklid, Katoptr. theor. 30.

dann fällt der Ort des Bildes mit dem Reflexionspunkt zusammen. Sonst aber erscheint das Bild an einer anderen Stelle im Schnitt der Kathete mit dem Sehstrahl, wie folgende Beispiele zeigen [1]):



1. Das Objekt „*t*" sei auf dem Durchmesser der Halbkugel. Die Strahlen reflektieren von *e* nach *A*, dem Auge; und zwar soll der reflektierte Strahl parallel der Kathete *l o* sein. Dann sieht das Auge das Bild in *e*.

2. Objekt „*m*" sei auf der Kathete. Es findet Reflexion von *n* nach *A* statt. Das Bild entsteht in *l*.

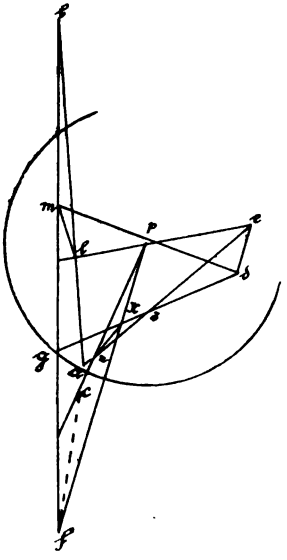
3. Objekt „*k*" auf der Kathete. Reflexion aus *c* nach *A*; Bild in *s*.

4. Objekt „*q*" auf der Kathete; Reflexion aus *g* nach *A*; Bild in *o*.

5. Objekt „*e*"; Reflexion aus *e* nach *A*, also Bild im Auge selbst.

6. Ist das Auge im Zentrum des Hohlspiegels, so sieht es sich dort selbst.

7. Ist das Auge in der Peripherie oder ausserhalb des Spiegels, so findet Reflexion nach der gegenüberliegenden Fläche statt. Sich selbst sieht es nicht.



8. Innerhalb der Peripherie sieht das Auge nichts von dem, was mit ihm auf gleichem Halbmesser liegt.

9. Ein Objekt im Zentrum kann das Auge nur vom Zentrum aus durch Reflexion sehen.

Auch die Modifikation der Bilder bei verschiedenen Distanzen des Objektes vom Spiegel zeigt Baco an einer Figur [2]).

Nehmen wir an, *e d* sei ein Objekt vor dem Spiegel. Nach dem Reflexionsgesetz falle ein Strahl *e* über *a* nach *b* und ein Strahl von *d* komme über *g* nach *b*. Die Katheten für *e* und *d* sind bezw. *e l* und *d m*. Folglich ist *l m* das Bild von *e d*. Dabei sehen wir, dass *e d* dieselbe Lage hat wie *l m*. Der Punkt *l* entspricht nämlich dem Punkte *e* und beide liegen vorne; *m* entspricht *d* und beide liegen zurück. Anders ist es mit *k n*. Ein Strahl von *k* reflektiere über *g* nach *b* und

[1]) Die Figur hat Baco aus Alhazen Opt. V. 60.

[2]) Bacos Figur ist ähnlich der des Euklid, Satz 11 und des Vitello, Opt. VIII. 52.

ein Strahl von n über a nach b. Die Katheten sind bezw. $p\,f$ und $p\,c$. Also ist $f\,c$ das Bild von $k\,n$. k entspricht f; aber k vorne, f zurück. n entspricht c; aber n liegt zurück, c vorne. Also ist hier das Bild umgekehrt, wie es Euklid in dem 11. Satze seiner Katoptrik ausspricht[1]).

Weiters[2]) führt dann Baco Beispiele an, wie die sphärischen Hohlspiegel zu Schaustellungen und Täuschungen verwendet werden können:

Man kann Spiegel so aufstellen, dass sie zeigen, wie viel man will und was im Hause oder auf der Strasse vor sich geht. Jeder Beobachter wird diese Dinge in Wirklichkeit zu sehen meinen; wenn er aber an die Stelle kommt, wo er es gesehen hat, so sieht er nichts mehr. Denn man stellt die Spiegel so im Verborgenen auf, dass bloss die Bilder sichtbar werden und in der Luft dort erscheinen, wo sich Sehetrahl und Kathete schneiden. Auf diese Weise können gar manche Zauberdinge gemacht werden, so dass man Gold, Silber und kostbare Steine zu sehen glaubt, während in Wirklichkeit nichts an dieser Stelle ist.

Alhazen gibt in seiner Schrift „über die sphärischen Brennspiegel" auch an, wie ein sphärischer Spiegel konstruiert werden kann. Da nämlich die von einem einzigen Kreise reflektierten Strahlen nicht genügen, um einen Brennherd herzustellen, so vereinigt er mehrere Ringe mit verschiedenen Radien, welche zu einem Brennpunkte zusammenwirken[3]).

Baco erwähnt nichts über diese Art der Konstruktion. Es findet sich nur die Bemerkung:

Das Instrument hiezu ist schön und bestätigt deutlich die Theorie, besonders wenn der Spiegel aus gutem Stahl oder Silber hergestellt ist[4]).

Endlich haben wir noch bei Alhazen die nach ihm benannte Spiegelaufgabe zu erwähnen, welche das Problem behandelt, den Reflexionspunkt zu finden, wenn Auge und Objekt gegeben sind. Alhazen löst sie für alle möglichen Spiegelarten im 5. Buche seiner Optik[5]).

---

[1]) Vgl. Vitello VIII. 52. 53.

[2]) op. mai. II. 165, de secret. op. p. 535; die Spiegel heissen hier perspicua. Wie man solche Täuschungen hervorrief, ist aus Heron, Katoptr. ersichtlich. Vgl. Heronis Alex. opera (L. Nix) II. 1; 348ff., 357 ff. Baco scheint also diese Schrift (fälschl. Ptol. de Speculis) bekannt gewesen zu sein, wenn er es auch nicht ausdrücklich sagt.

[3]) Näheres Wied. Ann. (39) p. 117 ff.

[4]) op. mai. I. 115.

[5]) Vgl. Bode: Alhaz. Spiegelaufgabe . . . Jhr. Ber. d. phys. Ver. zu Frankf. 1891/92 u. L. Schnaase: Alhazen, ein Beitrag . . . in den Schriften der naturforschenden Gesellsch. zu Danzig. N. F. VII. H. 3 1890. S. 154.

Baco hat dieses Problem nicht behandelt.

Was vom sphärischen Hohlspiegel gesagt wurde, gilt im allgemeinen auch vom konkaven Zylinder- und Kegelspiegel; nur sind die Bilder noch mehr verzerrt.

4.

Der parabolische Brennspiegel.

Op. mai. I. 115f.; II. 487, 490f., 538; op. III. 45, 112. De secr. op. 535. De speculis (Combach) 197, 201ff.; cf. Vitello, Opt. Lib. IX.

Den parabolischen Brennspiegel erwähnt Baco an mehreren Stellen, ohne bestimmtere Angaben darüber machen zu können. Erst die Schrift ‚de Speculis' ist es wieder, in welcher er genauere Kenntnis des Alhazenschen Buches „über den parabolischen Brennspiegel"[1]) bekundet und im Anschluss daran den Gegenstand behandelt.

Wir wollen, so führt er aus, eine Fläche finden, die nicht wie der sphärische Hohlspiegel nur gewisse Strahlen auf einen Punkt vereinigt, sondern die alle Sonnenstrahlen, die einfallen, auf einen einzigen Punkt vereinigt, und das ist nur das Paraboloid (superficies concava corporis umkefi[2]). Wir erhalten diese Fläche dadurch[3]), dass wir zur Mantellinie eines Kegels einen parallelen Schnitt führen, wodurch eine Parabel entsteht. Diese Parabelform bilden wir aus einem harten Eisenstück nach und bohren damit in eine dicke Holzplatte ein. Dann erhalten wir die Form eines parabolischen Brennspiegels. Er sieht aus wie ein Ei. Schlägt man die Spitze ab, so bildet sie einen parabolischen Hohlspiegel, der den Brennpunkt vorne hat (ante), und nimmt man den ringförmigen vorderen Teil, so hat dieser den Brennpunkt hinten (retro).

Zur Zeit, als Baco das Opus maius und tertium schrieb, hatte er offenbar noch keine genauere Kenntnis über das Buch Alhazens „über den parabolischen Brennspiegel." Denn er klagt[4]),

dass der Autor (Alhazen) in seinem Buche „über die Brennspiegel" manches über die Anfertigung von parabolischen Spiegeln geheim gehalten habe, das sich aber in einem anderen seiner Werke finde[5]), das leider nicht übersetzt sei. Trotzdem hätten sich abendländische Gelehrte an die Konstruktion eines solchen Kunstwerkes gemacht, vor allem Petrus Peregrinus von Maharncuria. Aber gross seien die Kosten und Mühen gewesen, und der Künstler habe hundert Pariser Pfund daran gesetzt und mehrere Jahre lang jede andere

---

[1]) Von E. W. eingehend besprochen in d. Ann. d. Ph. Bd. 39. p. 120ff.

[2]) Arabisch Mukâfi.

[3]) Nach E. Wiedemann l. c. 123 hat Wöpcke die Konstruktion näher erörtert.

[4]) op. mai. I. 116.

[5]) Al Hasan hat „über Brennspiegel" zwei Schriften verfasst.

Beschäftigung beiseite gelassen. Doch habe er dabei viel gelernt und wolle nicht für tausend Mark auf dieses herrliche Schauspiel verzichten[1]).

Besondere Schwierigkeiten bereitete Baco früher die Mitteilung Alhazens, dass der Brennpunkt vorne und rückwärts (ante et retro) liegen könne. So schreibt er z. B.:

Sicher ist, dass ein solcher Spiegel hergestellt werden könne, der von der einen Seite her hohl, von der anderen konvex ist[2]) und eine bedeutende Dicke hat, so dass nach rückwärts eine Brennstelle durch Brechung der Strahlen, nach vorne eine Brennstelle durch Reflexion entsteht. Wer das für unmöglich halte, der wisse, dass zur Handhabung dieses Spiegels verständige Leute gehören, die das brennbare Objekt von der Seite her und mit Sorgfalt anbringen. Auch beim ovalen und ringförmigen Spiegel soll das der Fall sein; doch müssen dabei die Strahlen von zwei entgegengesetzten Seiten her einfallen, um ein ante und retro zu erzeugen, was man sich schwer vorstellen könne und er selbst noch nicht erfahren habe. Beim sphärischen Hohlspiegel verstehe er das ante und retro, indem ja bei diesem Spiegel die von den einzelnen Kreisringen reflektierten Strahlen nicht auf einen einzigen Punkt zusammenfallen, sondern auf mehrere Punkte der Achse, nach vorne und rückwärts[3]). Dass vorne und rückwärts ein Brennpunkt entstehe, könne auch durch Vereinigung mehrerer Kegelstücke bewirkt werden, wobei jedoch nicht ein Sammelpunkt aller Strahlen zu einem Brennpunkt erreicht werde[4]). Das finde nur beim parabolischen Spiegel statt, wie nach Alhazen dargetan.

Auffallender Weise zitiert Baco mehrmals Euklid und sagt, dass dieser einen Spiegel fertigen lehre, der ante et retro einen Brennpunkt habe und zwar in der 33. Proposition der Katoptrik.

Das griechische Original enthält jedoch nur 31 Sätze und schliesst mit dem sphärischen Hohlspiegel. Es ist also, wie schon erwähnt, dieses Werk in unvollkommenem Zustand auf uns gekommen.

Der parabolische Hohlspiegel ist nach dem Muster von Alhazen auch von Vitello, Optik 9. B. 39—44 behandelt worden. Die Eigenschaften der Parabel und die Funktion des Spiegels sind genau beschrieben und durch korrekte Zeichnungen veranschaulicht.

---

[1]) op. III. cap. 13.

[2]) Man beachte Korrektur im Suppl.-Band zu II. 538: ‚concavum ex una et convexum ex altera parte'.

[3]) op. mai. II. 487, 490 . . .

[4]) Liber de speculis (Comb.) p. 202.

6. Kapitel.

Refraktion (Dioptrik).

Op. mai. I. 112—114, 130—132; II. 146—159, 165f., 461—478; op. III. 110ff.

Theorie.

Fällt ein Strahl durch Medien verschiedener Dichte, so erleidet er an der Grenzfläche der beiden Mittel eine Brechung (Refraktion)[1]; nur der lotrecht auffallende Strahl behält seine Richtung bei. Dicht ist überhaupt das, was die konstituierenden Teile nahe beisammen hat. Sind sie bei einem zweiten Teil nicht so eng gelagert, so ist es dünner als der erste[2]. Hinsichtlich der Brechung gelten folgende Sätze[3]:

Kommt ein Strahl von einem dünneren Medium auf ein dichteres, so fällt der gebrochene Strahl zwischen die gerade Gangesrichtung und das Lot, welches im Brechungspunkte auf der Grenzfläche errichtet wird. Dies ist z. B. der Fall, wenn die Strahlen von den Gestirnen schief zur Erde fallen, da die unteren Luftschichten dichter als die oberen sind, oder wenn Strahlen aus der Luft schief in ein Wasser fallen.

Macht jedoch der Strahl den umgekehrten Weg von einem dichteren Mittel in ein dünneres, so fällt der gerade Gang zwischen Einfallslot und gebrochenen Strahl hinein.

Dass einfallender und gebrochener Strahl mit dem Einfallslot in einer Ebene liegen, ist nicht eigens ausgesprochen, folgt aber aus der Analogie mit den reflektierten Strahlen[4]. Auch bedient sich Baco nirgends der Bezeichnungen: Einfallswinkel, Ablenkungs- und Reflexionswinkel wie Ptolemäus und Alhazen. Nur an einer Stelle des Opus maius ist angedeutet, dass der Winkel, welchen der gerade Gang mit dem gebrochenen Strahl bildet, der Ablenkungswinkel (angulus refractionis bei Ptolemäus) heisst[5].

Die beiden Sätze des Brechungsgesetzes finden sich, sagt Baco, durch-

---

[1]) Baco bemerkt (II. 462), dass manche Autoren die Fractio eine Reflexio nennen und von einer species reflexa und einem radius reflexus sprechen, wo eine Brechung gemeint ist. Dies ist besonders bei Ptolemäus und Alhazen zu beachten. (Vgl. Baarmann über das Licht, Ztschr. d. D. M. G. Bd. 36, 1882 u. E. Wiedemann ebenda Bd. 38. 1884). Ptolemäus gebraucht auch Reverberatio und Flexio statt Refractio, wie seine Optik (Govi) zeigt.

[2]) Cf. II. 460, 461. Alhazen hält VII, 8 corpora subtilia für gleich mit corpora valde diaphana, und grossiora für gleich mit minus diaphana. Auch bei Baco ist „gleiche oder verschiedene Dichte“ im allgemeinen identisch mit „gleicher oder verschiedener Durchsichtigkeit“. (Vgl. op. mai. II. 460f.)

[3]) Vgl. Alhazen: Opt. VII. 4.

[4]) Vgl. „Reflexion“. — Alhazen VII. 5. 9.

[5]) op. mai. II. 466. Näh. bei Ptol. im II. Absch. unserer Abh.

wegs bestätigt, auch bei sphärischen Körpern, bei welchen das Einfallslot durch den Mittelpunkt der Kugel geht.

Baco sucht dann auch die Brechung selbst zu erklären:

Im dünneren Medium, schreibt er, geht die Fortpflanzung des Strahles viel schneller vor sich als im dichteren, welches einen grösseren Widerstand entgegensetzt. Deshalb wendet sich im dichteren Medium die Richtung des Strahles gegen die lotrechte Lage hin, wo sie leichter vor sich gehen kann, da diese Richtung stärker wirkt. Je dichter demnach ein zweites Medium ist, desto mehr weicht der gebrochene Strahl von der Richtung des einfallenden Strahles ab[1]). Das Gegenteil tritt ein, wenn ein Strahl von einem dichteren Medium in ein dünneres gelangt[2]).

Apparat zur Messung des Brechungswinkels.

Alhazen gibt in seiner Optik (VII. 2, 10—12) im Anschluss an Ptolemäus eine ausführliche Beschreibung des Apparates zur Messung des Brechungswinkels und macht dabei Versuche für den Übergang der Strahlen von Luft in Wasser und Glas und umgekehrt[3]). Diesen Apparat erwähnt oder benützt Baco direkt an keiner Stelle, obwohl er gerade aus dem Buche des Ptolemäus[4]) und Alhazen, wo dieses Instrument behandelt ist, verschiedene Partien entlehnt. Doch scheint er einmal diese Vorrichtung im Auge zu haben, wenn er schreibt[5]):

„Dass die Brechung zwischen Einfallslot und geraden Gang wahr sei, lehren die Autoren, und alle Kundigen wissen es, und es können Instrumente dazu hergestellt werden, so dass wir mit Augen diesen Vorgang sehen. Aber bis wir die Instrumente haben, wollen wir dies an einer Figur zeigen."

Nun nimmt er eine Halbkugel aus Glas oder Kristall, füllt sie mit Wasser und zeigt den Brechungsgang, wie wir am Schlusse dieses Kapitels bei der Brennkugel dartun werden.

Veränderung der Bilder infolge der Strahlenbrechung.

Op. mai. II. 146—153.

1. Ist das Auge im dünneren Medium, das Objekt im dichteren, z. B. Wasser, Glas, Kristall, und ist die Oberfläche eben, dann zeigt sich der

---

[1]) Vgl. Alhazen: Opt. VII. 8. — Baco scheint in II. 466 das Gegenteil zu behaupten, wohl ein Versehen von irgend einer Seite.

[2]) Nach Newton bewegt sich das Licht im dichteren Mittel rascher als im dünneren. Philosoph. nat. princip. math. lib. I. prop. 94—96.

[3]) Behandelt von E. W. in Ann. d. Ph. 21. 1884. p. 541. Vgl. Bullet. Boncomp. 1881.

[4]) Ptol. 5. Kap. d. Opt. Vgl. op. mai. II. 466.

[5]) op. mai. I. 113.

Gegenstand näher und grösser, denn er wird unter grösserem Winkel gesehen. Das Bild eines jeden Punktes zeigt sich nämlich dort, wo der Sehstrahl (d. h. die vom Gegenstande auf das Auge kommende, gebrochene Linie) mit der Kathete (d. i. die Senkrechte auf das Objekt) sich schneidet.

2. Das Auge befinde sich im dichteren Medium, das Objekt im dünneren. Dann erscheint das Bild unter kleinerem Sehwinkel und in die Ferne gerückt[1]).

Ähnliche Erscheinungen ergeben sich, wenn zwischen Auge und Objekt nicht ein ebenes, sondern ein Medium mit sphärischer Oberfläche sich befindet.

Die Aufzählung der sich ergebenden Fälle findet wieder nach der Optik des Ptolemäus statt[2]). Bei Peckham und teilweise bei Alhazen[3]) finden sich dieselben Abbildungen.

Nehmen wir an, führt Baco aus, das Auge sei in einem dünneren, das Objekt in einem dichteren Medium. Beide Medien haben als Grenzfläche eine Kugelhaube, deren Höhlung dem Auge zugewendet ist. Dann rückt das Bild dem Auge näher, wird aber kleiner. Und dies ist der Fall, ob das Auge diesseits oder jenseits des Zentrums der Höhlung sich befindet.

Ist unter denselben Bedingungen das Auge im dichteren, das Objekt im dünneren, so rückt das Bild in die Ferne, wird aber grösser.

Ist aber dem Auge die konvexe Seite der Kugelhaube zugekehrt, so entsteht ein genähertes und vergrössertes Bild, wenn das Auge im dünneren und das Objekt im dichteren Medium ist und das Objekt zwischen Kugelzentrum und Auge liegt. Befindet sich aber das Zentrum zwischen Auge und Objekt, so rückt das Bild in die Ferne, bleibt aber grösser.

Ist das Auge unter den eben genannten Voraussetzungen im dichteren, das Objekt im dünneren Medium, so ist das Bild entfernter und verkleinert, wenn das Objekt zwischen Auge und Zentrum liegt; genähert aber und verkleinert, wenn das Zentrum der Trennungsfläche zwischen Auge und Objekt sich befindet.

In diesen Fällen sind die Brechungserscheinungen gegeben, wie sie sich bei den Konvex- und Konkavlinsen ergeben. Geschliffene Linsen kannte Baco schwerlich, da die Kunst des Linsenschleifens erst gegen Ende des 13. Jahrhunderts auftritt[4]). Die Form der Linse war aber Baco wohl bekannt, da er deutlich von linsenförmigen, durchsichtigen Körpern redet[5]).

---

[1]) Diese Fälle sind schon bei Euklid: Optik, Theor. 6, bei Ptolemäus: Opt. (Govi) p. 166, Alhazen: Opt. VII, 17, 18, 19, 39, Penkham: Persp. liber III. prop. V. u. X. erörtert und gezeichnet.

[2]) Govi p. 159ff.

[3]) Perkh. l. c. III. 9, 11; Alhazen: Opt. z. B. VII. 48.

[4]) Vgl. Heller: Gesch. d. Ph. 201. Nach Gerland u. Traumüller: Experimentierkunst p. 6 wurde eine plankonvexe Linse aus Bergkristall in Niniveh gefunden, die aus der Zeit der assyrischen Herrschaft stammt. Sie ist aber nicht regelmässig geschliffen.

[5]) Op. mai. II. 466.

Beispiele.

1.[1])

Baco führt die Beispiele vom Stab, der im Wasser gebrochen, und von der Münze, die im Wasser gehoben erscheint, an. Hiebei befindet sich das Bild des einzelnen Objektpunktes im Schnitte der Kathete und des Sehstrahles.

Diese Beispiele sind alt. Schon Aristoteles kannte sie, wusste jedoch keinen sicheren Grund dafür anzugeben.

2.[2])

Ganz analog schloss man schon frühzeitig, dass Sonne und Mond am Horizonte durch Strahlenbrechung gesehen werden, bevor sie aufgehen und wenn sie schon untergegangen sind. Nach dem Muster des Ptolemäus und Alhazen benutzt Baco die Armilla zur Beobachtung und kommt dadurch zur Einsicht,

dass der Bogen von einem Fixstern bis zum Pole der Welt beim Aufgang kleiner ist als der Bogen zum Weltpol zur Zeit des Standes im Zenith. Und daraus folgert er, dass das Auge den Stern nach gebrochenen Strahlen sehe.

3.[3])

Betrachten wir die Gestirne beim Auf- und Untergang, so erscheinen sie oft in ungewöhnlicher Grösse. Dies entsteht durch die Wasserdämpfe zwischen Auge und Gestirne, wobei das Auge ausserhalb der Dämpfe im dünneren, das Gestirn vom dichteren Medium verhüllt ist. Derartige Dämpfe sind als konzentrisch mit der Erdkugel zu betrachten, so dass dem Gestirne die konvexe Seite zugekehrt ist. Das Auge befindet sich zwischen Objekt und Zentrum des Mediums. Daraus folgt, dass das Bild vergrössert und näher zu sein scheint, als wenn das Gestirn am Himmel steht. In der Nähe des Zenithes wirkt die Refraktion sehr schwach, am Horizont sehr stark. Der Sehwinkel überwiegt alles, und daher die Vergrösserung.

Alhazen[4]) verwirft diese Erklärung und will die Erscheinung durch die scheinbar grössere Entfernung am Horizonte erklären. Baco beruft sich dem gegenüber darauf,

dass dieser Grund immer vorhanden sei, während sich doch die Vergrösserung

---

[1]) Op. mai. II. 153. — Vgl. Ptolemäus Opt. (Govi) 143 f.; Alhazen VII. 37; Peckham: Persp. l. c. III. 7; Priestleys: Gesch. d. Opt. p. 4. Vorbemerk. zur unechten Katoptrik Euklids.

[2]) Op. mai. II. 472, I. 131; Ptol. (V. B.) p. 151 f. Alhazen: Opt. VII. 15. Vgl. Alhazen: De Crepusculis u. Abh. über das Licht (Baarmann l. c. u. E. Wiedemann; Wied. Ann. Bd. 20 (1883) S. 342). Näh. in Sitzber. d. phys. med. Soz. Erlangen 1904 p. 334.

[3]) Op. mai. II. 155. Ptol. Opt. p. 78. Alhazen VII. 51. 53.

[4]) Opt. VII. 51.

nur dann so deutlich zeige, wenn die Luft mit Wasserdämpfen erfüllt sei. Die scheinbare Entfernung unterstütze die Täuschung, sei aber nicht der Hauptgrund. Sie wirke in der Art, dass das Himmelsgewölbe sich dem Auge als grosse Ebene repräsentiere. Daher der Eindruck, dass das, was im Zenith liege, näher sei. Was aber weiter entfernt zu sein scheine, komme einem grösser vor, wenn es unter gleichem Winkel gesehen wird, wie auch die Seiten eines Dreiecks immer grösser werden, je weiter sie von der Spitze eines festen Winkels abstehen. Wären in der Luft keine Dämpfe und wirkte auch die scheinbare Entfernung nicht, so wäre das Auge im dichteren Mittel der Erdatmosphäre, das Objekt im dünneren, nämlich am Himmel. Die konkave Seite des Mediums wäre dem Auge zugekehrt, das sich zwischen dem Zentrum des Mediums und dem Objekt befindet. Es würden dann die Gestirne kleiner gesehen, da sie unter kleinerem Sehwinkel erscheinen[1]).

4.[2])

Vergrösserungsgläser.

Nimmt man ein Kugelsegment aus Kristall oder Glas und ist die Höhe des Segments kleiner als der Radius, so sieht man Buchstaben und kleine Gegenstände grösser, wenn man die konvexe Seite dem Auge zukehrt. Denn das Auge ist dann gleichsam im dünneren, das Objekt im dichteren Medium und zwischen Zentrum und Auge. Also ist der Sehwinkel grösser und auch das Bild ist grösser und näher. Deshalb gibt dieses ein vorzügliches Instrument für alte Leute und solche, die schwache Augen haben, denn sie können damit noch so kleine Buchstaben in hinlänglicher Grösse sehen. — Ist aber die Höhe des Segments grösser als der Radius, oder haben wir eine Halbkugel, so entsteht der Fall, dass das Objekt ausserhalb des Zentrums des Mediums zu liegen kommt. Das Bild rückt in die Ferne und wird ebenfalls grösser. Nimmt man Kristallkörper mit ebener Fläche, so treten ähnliche Erscheinungen zu tage, doch ist die konvexe Form besser[3]).

Dass durch Glaskörper Vergrösserungen bewirkt werden können, war schon im Altertum bekannt[4]). Seneca z. B. erwähnt die Vergrösserung durch mit Wasser gefüllte Glaskugeln, und sein Schüler Nero soll sich im Theater eines geschliffenen Kristalls bedient haben. Auch von den alten Steinschneidern wird erzählt, dass sie sich mit Wasser gefüllter Kugeln bedient hätten, um feiner arbeiten zu können[5]). Wissenschaftlich haben sich aber erst die Araber mit der Brechung

[1]) Op. mai. II. 117, 157 f. Näheres Helmholtz: Physiol. Opt. p. 774.

[2]) op. mai II. 157 f. 165 f. de secretis operibus . . p. 534 f.

[3]) Priestleys l. c. p. 16 und Heller . . . 201 legen mit Unrecht Baco die Ansicht unter, als nehme man mit umgekehrten Segmenten die Gegenstände verkleinert wahr.

[4]) Näheres über geschliffene Gläser u. dergl. bei den Alten siehe bei Hirschberg: Gesch d. Augenh.-K. p. 175 ff.

[5]) Priestleys p. 5; Seneca I. 7 nat. quaest.

an gekrümmten Flächen befasst. E. Wiedemann[1]) zeigt, wie sich ein Kommentator des Alhazen, wahrscheinlich Kamâl el Dîn Abû al Hasan Al Fârisî mit Unterstützung eines persischen Gelehrten in einer Weise mit dieser Frage beschäftigt, die ein glänzendes Zeugnis für die physikalischen Leistungen der Araber ablegt. Nach diesen Mitteilungen sind beim Sehen durch eine glatte Kugel sowohl Reflexion als Refraktion der Strahlen zu beachten. Gang und Wirkung der Strahlen und die Art und Weise, wie sich dahinter liegende Objekte, wie z. B. Ringe repräsentieren, werden in präziser Weise erörtert[2]). Wir werden diese Arbeit auch noch beim Regenbogen erwähnen müssen.

Roger Baco hatte von diesen Arbeiten wohl keine Kenntnis bekommen, wenigstens erwähnt er nichts der Art. Nach seinen angeführten Worten über das Sehen durch Glaskörper hat man ihn früher mehrmals zum Erfinder der Brillen erhoben. Allein die Erfindung der Brille dürfte mehr dem technischen Fortschritt im Linsenschleifen zu verdanken sein. Und dass Glaskörper Gegenstände vergrössern können, war ja schon vor ihm bekannt. Dass er sich Rechenschaft über die Ursachen dieser Erscheinung zu geben versuchte, dürfen wir aber nicht verkennen.

Durch das Sehen nach gebrochenen Strahlen, schreibt Baco weiter[3]), können sich auch sehr grosse Dinge als sehr klein darstellen. Ebenso kann, was sehr weit entfernt ist, ganz nahe gesehen werden und umgekehrt. Denn es können durchsichtige Medien (perspicua; hier nicht Spiegel) so für das Auge und das Objekt angeordnet werden, dass die Strahlen dorthin gebrochen werden, wo und unter welchem Winkel wir wollen, so dass wir ein Ding in der Nähe und in der Ferne sehen können. Und so können wir aus unglaublicher Entfernung die kleinsten Buchstaben lesen. Und da wir den Sehwinkel beliebig vergrössern können, so muss ein Knabe wie ein Riese, ein Mann wie ein Berg erscheinen und ein Heer als riesig gross erscheinen und ebenso was weit entfernt ist, ganz nahe und umgekehrt. Ja, wir würden Sonne und Mond gleichsam vom Himmel herabziehen und damit die Feinde schrecken können[4]).

Aus diesen Stellen können wir entnehmen, dass Baco die Eigenschaften der Lupe bekannt waren, die von einem Gegenstande inner-

[1]) Annalen d. Ph. Bd. 39 (1890) p. 565 ff.

[2]) Auch Archimedes soll über die Erscheinungen geschrieben haben, die ein Ring unter Wasser verursacht. Priestleys p. 5.

[3]) op. mai. II. 165 f.

[4]) Dasselbe in der Schrift de secretis operibus p. 534 f. Dort kommt ebenfalls der Ausdruck ‚perspicua' vor. Als solche gelten bei Baco: Luft, Dämpfe, Wolken, Glas, Kristall u. dgl. Heller übersetzt (p. 201) perspicua mit „Röhren", was natürlich nicht gemeint ist.

halb der Brennweite ein virtuelles und vergrössertes Bild gibt. Dass aber durch beliebige Vergrösserung der Linse auch beliebige Vergrösserung des Objektes bis ins Riesenhafte und für jede Entfernung möglich sei, ist bei Baco lediglich Phantasie. Man kann ihn deshalb auch nicht als Erfinder des Teleskopes bezeichnen [1]), und das um so weniger, als sich keine Spur erkennen lässt, dass er jemals zwei Linsen kombiniert hätte, was doch wesentlich zum Teleskop gehört. Ebenso hat er nie Spiegel und Linse in Verbindung gebracht. Er sagt:

Die Quantität des Winkels bewirkt alle diese Erscheinungen.

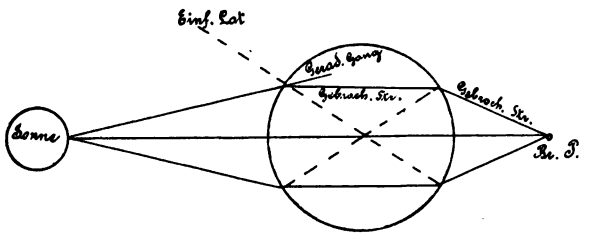
Nach der ganzen Darstellung seiner Theorien ist an derartige Versuche nicht zu denken. Und deshalb kann dem Scholastiker nicht mehr zugestanden werden als der Wunsch und die Sehnsucht nach einem solchen Instrumente.

5. [2])

Ein Licht erscheint bei mässiger Entfernung grösser als in der Nähe. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei einiger Entfernung auf das Auge nicht nur senkrechte, sondern auch schief einfallende Strahlen kommen, welche vom Auge gebrochen werden. Das Licht wird also nicht nur durch gerade, sondern auch durch gebrochene Strahlen gesehen. Dabei nimmt das Auge die Brechung nicht wahr, weshalb nach diesen Strahlen der Sehwinkel vergrössert und dadurch auch das Bild des Lichtes auseinandergezogen wird.

6. [3])

Die Brennkugel.



Analog dem Brennspiegel haben wir auch eine Brennkugel. Baco beschreibt sie nach dem Muster von Alhazen an zwei Stellen [4]) des Opus maius in folgender Weise:

[1]) Wie Tanner: Bibl. Brit. Lond. 1748. p. 63. Vgl. E. Wiedemann am Schlusse der Abh. über die Brennspiegel in Annal. d. Ph. 1890.

[2]) Op. mai. II. 158 f.

[3]) Op. mai. II. 471; I. 113, Die Arbeit des Ibn al Haitam „über die Brennkugel" ist von E. Wiedemann behandelt in den Annalen d. Ph. 1879 p. 679 f. und 1890 p. 565 ff. Beiträge z. Nat. W. bei d. Arabern in Sitz.-Berichten der phys.-med. Soc. zu Erlangen 1904. p. 332. Vgl. Vitello: Opt. X. 48; Peckham III. B. prop. 10, 17.

[4]) In op. mai. I. 113 wird der Vorgang an einer Halbkugel gezeigt.

Wir nehmen einen sphärischen Kristall oder ein rundes Glasgefäss[1]), füllen es mit Wasser und lassen die Sonnenstrahlen hindurchfallen; dann ergibt sich auf der Seite, welche der Sonne abgewendet ist, ein Brennpunkt, der leicht entzündliche Stoffe zum Brennen bringt. Dies wäre nicht möglich, wenn nicht beim Übergange des Strahles in verschiedene Mittel Brechung einträte. Der durch den Mittelpunkt des Gefässes gehende Strahl wird nicht gebrochen, da er lotrecht zum Glase, zum Wasser und zur umgebenden Luft ist. Dabei gilt das Zentrum der Kugel zugleich als Mittelpunkt für die inneren und äusseren Medien. Alle anderen Strahlen, die nicht durch das Zentrum gehen, fallen schief auf und werden beim Eintritt in die Kugel zum Einfallslot und beim Austritt aus derselben über den geraden Gang hinausgebrochen, so dass der gebrochene Strahl den durch das Zentrum gehenden Achsenstrahl schneidet. In denselben Schnittpunkt fallen dann auch noch unzählige andere Strahlen, so dass ein Brennpunkt entsteht.

Vergleichen wir diese Darstellung mit der Behandlung der Brennkugel von Alhazen, wie sie uns E. Wiedemann an den bezeichneten Stellen vorführt, so sehen wir, dass der Araber weitaus wissenschaftlicher und gründlicher das Problem behandelt. Insbesonders lässt er die Sonnenstrahlen parallel auf die Kugel fallen. Der Brennpunkt befindet sich in einer Entfernung von der Kugel, die kleiner als ein Viertel des Durchmessers ist.

Auch bei den Alten waren Brennkugeln bekannt. So wird bei Aristophanes (424 v. Chr.) eine solche erwähnt; Plinius schreibt, dass eine Glaskugel Feuer entzünden könne, weshalb man sie zum Ätzen der Wunden benütze. Auch bei Lactantius († 325 n. Chr.) ist von einer Brennkugel die Rede[2]).

7. Kapitel.

Der Regenbogen[3]).

Zu allen Zeiten hat der Regenbogen die bewundernden Blicke der Menschen gefesselt. Indem die Phantasie an das farbenreiche

[1]) Corpus urinale.

[2]) Poggendorf: Gesch. d. Ph. . . 25. — Konrad von Megenberg (geb. 1309) schreibt in seinem „Buche der Natur" p. 379: „Wenn auf einen runden Kristall die Sonne scheint, so entzündet er Zunder gerade so wie der Beryll. Dieser ist einer der 12 Steine, Farbe blass, dem Meerwasser gleich. Ist er sechseckig, so zeigt er die Regenbogenfarben im Sonnenlicht. Ist er rund wie ein Apfel und lässt man im angefeuchteten Zustande die Sonne auf ihn scheinen, so entzündet er erloschene Kohlen . . . Vgl. Ruska: Das Steinbuch aus d. Kosmog. Al-Kazînis p. 9.

[3]) op. mai. I. 43f. op. mai. II. 172ff. op. minus 317.

Wolkenband sinnige Mythen knüpfte, verhinderte sie nicht, dass schon frühzeitig auch ernstes Nachdenken über seine Entstehung sich regte. Roger Baco kennt die Abhandlungen des Aristoteles[1]) und Seneca[2]). Ersterer wusste, dass die Höhe des Bogens sich nach dem Stande der Sonne richte und dass deshalb in Griechenland zur Mittagszeit und im Sommer keine Iris entstehen könne. Er beobachtete auch den Nebenregenbogen. Die Erscheinung des Regenbogens sucht er sich durch Reflexionsbilder von den Tröpfchen wie von sehr kleinen Spiegeln zu erklären, die auch im Schlagwasser der Räder, im Spritzwasser der Wasserräder u. dgl. sich zeigen. Den Bogen hielt er für eine Menge unvollkommener Sonnenbilder an einer tauigen Wolke, die durch Reflexion zu unserem Auge gelangen. Die schrägsten Sonnenstrahlen können am wenigsten in der Wolke eindringen, werden deshalb am stärksten reflektiert und erzeugen die lebhafteste Farbe, das Rot[3]).

Diese Theorie liegt den meisten späteren Erklärungsversuchen und auch dem Roger Bacos zugrunde. Ausser Aristoteles war ihm sodann Seneca Gewährsmann, dessen Kenntnisse aber nicht besser waren. Der Regenbogen ist ihm ein einziges Sonnenbild, reflektiert von einer feuchten Wolke und vergrössert durch das Wasser, welches alles vergrössert. Die Farben sind dieselben wie im Prisma. Sie entstehen dadurch, dass Sonnenstrahlen von verschiedener Stärke sich mit der Farbe der Wolken vermischen[4]).

Auch die meisten Arbeiten der Araber über Regenbogen, Hof um Sonne und Mond schliessen sich hauptsächlich an Aristoteles an. Dahin gehören: Das Buch der Erscheinungen der Atmosphäre, die aus dem Wasserdampf entstehen, von Ibn al-Chammâr[5]); dessen Meteorologie[6]); das Buch über die Meteore und den Regenbogen von An-Nairîzi Honain[7]); Avicenna im Kitâb al Schifâ und Kitâb al Naǵat[8]);

[1]) Meteorologica im 4. Buch. Vgl. F. Poske: Regenbogen bei Aristoteles, Ztschr. d. M. 28 (1883) hist. Abt. 134f.

[2]) Naturales quaest. liber I. Kap. 7.

[3]) Poggendorf: Gesch. d. Ph. p. 28f.

[4]) ib. p. 29.

[5]) Suter: Ztschr. d. Math. . . p. 16.

[6]) Suter, Abh. p. 74.

[7]) Suter, Ztschr. 35.

[8]) op. mai. II. 174. — Nach E. Wiedemann sind es die Bücher: Liber sanationis Kitâb Schifâ und der Auszug aus demselben: Kitâb al Nagât. Näh. Annalen d. Ph. Bd. 39 1890 p. 566f. — Vgl. Ethé: Kosmographie El-Qazwînîs Lpzg. 1868. p. 207.

die lauteren Brüder[1]); El-Qazwînî (ca. 1150)[2]); Ibn al-Haitam üb
den Regenbogen und Halo[3]).

Nach diesen missglückten Versuchen gelang es dem schon g
nannten Kamâl ed Dîn Abû al Hasan al Farîsî und seinem M
arbeiter Al Schîrazî (1236—1311), einen wesentlichen Fortschritt z
machen[4]). Nach ihnen kann durch blosse Reflexion an Wassertropfe
kein Regenbogen entstehen; denn, wenn an der Oberfläche eine
Glaskugel das Bild eines Lichtes reflektiert wird, so zeigt sich wol
ein Kreis, der in seinen verschiedenen Teilen verschieden hell is
aber diese Reflexion kann nie Veranlassung zum Auftreten zweie
räumlich getrennter Bögen werden, bei denen die Farben an ver
schiedenen Stellen liegen. Ebensowenig lasse sich der Halo darau
erklären. Es ist vielmehr einmalige Brechung der Strahlen in di
Kugel, einmalige Reflexion (für den Hauptregenbogen), zweimalig
Reflexion (für den Nebenregenbogen) und zweite Brechung aus de
Kugel anzunehmen. Das Gesetz wird zugleich an Beispielen erläuter
und zwar an einer und an mehreren Kugeln zugleich.

Denselben Fortschritt finden wir auch bei einem Scholastiker
Thedosius de Saxonia oder Theodorich (Dietrich) von Freiburg aus dem
Dominikanerorden, geboren um die Mitte des 13. Jahrhunderts.
Dieser schrieb ein Werk: De radicibus impressionum sive de iride,
welches Hellmann wieder neu drucken liess[5]). Der Hauptregenbogen
wird darin durch Strahlen erklärt, welche in der oberen Hälfte des
Tropfens eintreten, dort gebrochen und auf der Rückseite derselben
reflektiert werden, hierauf nochmals gebrochen aus dem Tropfen aus-
treten und in das Auge des Beobachters gelangen. Der Nebenregen-
bogen entsteht aus Strahlen, welche im unteren Teile des Tropfens
eintreten, dort gebrochen und sodann an der Rückwand des Tropfens
zweimal reflektiert werden, worauf sie beim Austritt aus demselben,
nochmals gebrochen, zum Auge gelangen. Zur Erklärung der Farben
wäre die Kenntnis des Gesetzes der Dispersion erforderlich gewesen,
das natürlich noch mangelte. Leider blieb diese Schrift in einer

[1]) Dieterici: Die Naturansch. und die Naturphilos. d. Araber im 10. Jahrh. Berlin 1861. p. 83 und 84.

[2]) Ethé: Kosmographie l. c. p. 205. Dort auch über Hof um Sonne und Mond

[3]) E. Wiedemann in Annal. d. Ph. 1890 p 566f.: Nur ein Auszug aus der Meteorologie des Aristoteles.

[4]) E. Wiedemann in Annal. d. Ph. 1890 p. 566ff

[5]) Neudrucke von Schriften und Karten . . . Berlin 1893.

5. Erklärung der Kreisform.

Wir sehen, dass alle Teile der Iris mit Rücksicht auf Auge und Sonne dieselbe Lage haben. Eine solche Identität der Lage kann nur auf einer Kreisfigur statthaben. Warum ist aber nicht die ganze Kreisfläche gefärbt? Überall ist die Möglichkeit zur Strahlenbrechung vorhanden, aber aktuell nur in jenen Tropfen, von denen aus die Reflexion ins Auge kommt.

6. Hof um Sonne und Mond; Wassergalle in der Luft[1]).

Baco geht von Seneca aus[2]), der sagt:

Lässt man Dampf gerade in die Luft steigen, so entsteht die Virga; bildet er sich zu einem Kreisbogen, so erscheint die Iris, und wenn zu einem vollständigen Kreis, dann entsteht die Korona. Die Iris erscheint gegenüber der Sonne, die Virga seitwärts und die Korona unterhalb. Was man von der Iris sagen kann, gilt nach Baco auch vom Halo; die Virga ist nichts anderes als ein kleiner Teil der Korona, die in ungeheurer Entfernung als gerade Linie erscheint. Die Korona erklärt sich auch als Dampfschicht unter der Sonne, worin die Strahlen sich brechen. Doch kann man ohne nähere Erfahrung darüber nichts wissen und behaupten Auch um die Lichter in einem mit Dampf erfüllten Zimmer zeigt sich diese Erscheinung[3]).

8. Kapitel.

Die durch eine Öffnung erzeugten Bilder[4]) (Dunkelkammer).

Bei Vitello[5]) findet sich der Satz: „So oft das Sonnenlicht durch eine eckige Öffnung fällt, nimmt die Projektion eine runde Gestalt an.“ Zur Erklärung dient die Annahme, dass die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen in der Ferne immermehr parallel werden.

Eingehender befasst sich damit Joh. Peckham[6]) in der ihm zu-

---

[1]) Op. mai. II. 198f.

[2]) de sensu et sensibili cap. 4. Bridges 4, nach Arist. auch perpendicularis.

[3]) Die heutige Physik erklärt den Halo als Beugungserscheinungen an den Dunstkügelchen des Wolkenschleiers.

[4]) Op. mai. II. 493f.; Tractatus de speculis p. 181—195.

[5]) Vitello, Optik: liber II. prop. 35—39. Merkwürdigerweise enthält die Optik Alhazens den Satz nicht.

[6]) Die Perspectiva communis von Peckham, die sich vollständig an die Optik des Ptolemäus anschliesst, behandelt den Gegenstand im I. Buche. Leider ist das I. Buch der Ptolemäischen Optik nicht erhalten. Roger Baco deutet im op. maius II. 493f. an, dass auch im Buche de speculis von Euklid Satz III. von dieser Erscheinung die Rede sei. Die Katoptrik des Euklid, die fälschlich gewöhnlich mit dem Buche de speculis itendifiziert wird, weiss aber nichts davon.

geschriebenen Perspektiva Communis. Satz V des 1. Buches laute „Fallen Lichtstrahlen durch eckige Öffnungen von mässiger Grösse und fängt man sie auf, so projiziert sich der Einfall in einiger Entfernung nicht eckig, sondern rund, und das Bild wächst mit der Entfernung von der Öffnung.“ Die Erklärung, die er hierzu gibt ist der Hauptsache nach dieselbe wie die Roger Bacos, der dies Erscheinung in folgender Weise erörtert:

1. Beobachtung:

Wir lassen die Sonnenstrahlen durch eine kleine, dreieckige Öffnung in der Wand eines dunklen Raumes fallen. Fangen wir das Bild in verschiedenen Entfernungen auf, so finden wir, dass das Projektionsbild bei einer bestimmten Distanz der Öffnungsfigur ähnlich ist, bei einer grösseren Entfernung jedoch allmählich eine Gestalt annimmt, die dem leuchtenden Objekt entspricht, so dass, wenn dieses kugelförmig, die Projektion ein Kreis, und wenn es sichelförmig ist wie die Sonne bei der Sonnenfinsternis, geschweift erscheint. Ferner beobachten wir, sagt Baco, dass der Strahleneinfall jenseits der Öffnung zusammengedrängt und der Durchschnitt bei einer gewissen Entfernung enger als die Entfernung ist, so dass es den Anschein hat, als strebten die durchfallenden Strahlen in eine Spitze zusammengelaufen, welche wir aber nicht sehen.

2. Einwände:

Wenn wir bedenken, dass von jedem Punkte der Sonne aus zu jedem Punkte der Öffnung ein Strahl gelangt, so muss zu jedem Punkte der Öffnung ein ganzer Strahlenkegel gelangen. Auf diese Weise entstehen unzählige Strahlenkegel, deren Strahlen sich vor der Öffnung schneiden, hinter derselben aber sofort divergieren müssten, wodurch das Projektionsbild überall der Öffnung ähnlich und vergrössert erscheinen sollte, was aber der Beobachtung nicht entspricht. Nehmen wir die Strahlen parallel, so schneiden sie sich nicht vor der Öffnung, und das Projektionsbild, das in einer zur Öffnung parallelen Ebene aufgefangen wird, müsste überall der Öffnung kongruent sein, was wiederum nicht der Fall ist. „Ich stehe da“, sagt Baco, „vor einem unlösbaren Rätsel und weiss nicht, wie ich den Vorgang deuten soll. Wir müssen daraus schliessen, dass das Licht sich nicht so fortpflanzt, wie man annimmt, und ich glaube, dass, wenn die wahre und vollständige Ursache bekannt wäre, sie eine herrliche Einsicht in die Art und Weise der Lichtfortpflanzung, der Wärmewirkung u. s. w. eröffnen würde.“

3. Erklärungsversuch:

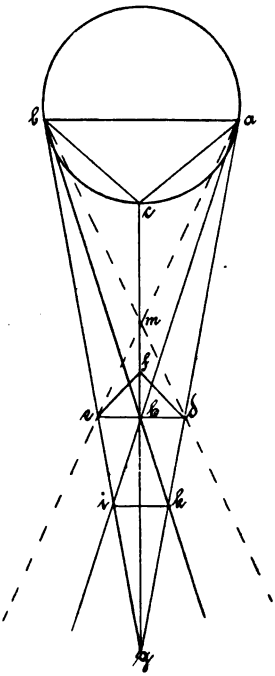
Baco will nun aber doch eine Erklärung geben und macht hierzu folgende seltsame Annahmen, die natürlich keine Lösung des Problems geben:

Zur kleinen dreieckigen Öffnung *e f d* in der Wand gelangt sowohl eine Strahlenpyramide als auch ein Strahlenkegel.

Die Pyramide lässt er von einem Teile der Sonne ausgehen, der von einem der Öffnung ähnlichen Dreieck *a b c* umgrenzt ist. Von diesem Drei-

eck aus fallen Strahlen durch die Öffnung, durch welche eine dreiseitige Pyramide mit der Spitze in g bestimmt wird. (Baco nimmt also die Strahlen wieder nicht parallel.)

Dabei ist klar, dass hinter der Öffnung die Projektion ähnlich der Öffnungsfigur und kleiner als diese ist, so dass die Strahlen zusammengedrängt erscheinen.



Der Strahlenkegel geht dann von der zu uns zugewendeten Sonnenfläche aus, welche durch den grössten Kreis der Sonnenkugel dargestellt wird. Dieser Kegel soll seine Spitze in h, also in der Mitte der Öffnung haben. Von h ab divergieren die Strahlen, verlaufen zunächst noch innerhalb der dreiseitigen Pyramide, weshalb sie uns samt der Spitze h verborgen bleiben. Bei i k durchdringen sie die Pyramide und schliessen von da ab deren Strahlen ein. Von i k ab hat also die Projektion die Form des leuchtenden Objektes: rund, sichelförmig u. s. w. Nun gehen aber auch noch Strahlen von den äussersten Punkten a, b, c nach den Ecken e, d, f, die sich vor der Öffnung in m schneiden, hinter derselben divergieren und sowohl die dreiseitige Pyramide als den Strahlenkegel einschliessen und ihre Wirkung aufheben müssten.

Um diesen Widerspruch zu beseitigen, nimmt Baco an, dass ein einzelner Strahl, der von einem einzigen Punkt der Sonne ausgeht und dessen einzelne Punkte nicht von anderen Strahlen geschnitten werden, nicht stark genug ist, um sichtbar zu sein, ausser er fiele direkt auf das Auge. Und das um so weniger, je schwächer so ein Strahl von Natur aus und im Vergleich mit den Strahlen seiner Umgebung ist. Dies, meint Baco, trifft nun hier zu. Die Strahlen a c, b d, c f, könne jenseits der Öffnung gar nicht wahrgenommen werden, einerseits weil sie einzelne Strahlen sind, zu deren einzelnen Punkten die Wand keine anderen Strahlen gelangen lässt, und anderseits, weil sie, mit den anderen Strahlen verglichen, sehr schwach sind, da sie von den äussersten Punkten der Sonne herkommen. Dazu komme noch, dass die dreiseitige Pyramide durch ihre Lichtstärke diese Strahlen übertönt und verdunkelt.

Baco und seine Vorgänger haben die Erscheinungen der Dunkelkammer im allgemeinen richtig beobachtet. Jede Öffnung von einigen Millimetern Durchmesser gibt in einem (dunklen) Raum von einem äusseren Gegenstande ein Bild mit allen seinen Farben und Formen, was bei Sonnenfinsternissen gut wahrgenommen werden kann. Dass ein umgekehrtes Bild entsteht, ist Baco nicht aufgefallen; es war hierzu das Objekt (die Sonne) auch nicht geeignet. Sein Erklärungs-

versuch dieses Vorganges ist zwar sinnreich, aber sehr weitschweifig und missglückt.

B. Wärmelehre.

Weder die Alten noch die Araber und Scholastiker haben einen wesentlichen Schritt zur Erklärung der Wärme getan. Die Beobachtungen beschränken sich hauptsächlich auf die Wärmewirkungen, auf das Gefühl und die Veränderung des Aggregatzustandes der Körper, also auf die gewöhnlichen Erscheinungen des Siedens, Verdampfens, Schmelzens, Gefrierens, Erzeugung von Hitze durch Sammeln von Sonnenstrahlen bei Brennspiegeln und Brennkugeln, durch Reibung u. dgl. Für die Entstehung von Wärme durch Reibung führt Aristoteles die Geschosse an, die sich in der Luft so sehr erhitzen, dass die Bleimassen schmelzen. Im übrigen aber verlegte er sich und seinen Geisteserben den Weg, indem er Wärme und Kälte als prinzipielle Gegensätze fasste und die Wärme als eine Qualität erklärte, die dem Feuer anhafte[1]).

Eine ausgezeichnete Beobachtung, die imstande gewesen wäre, eine richtige Erklärung der Wärme anzubahnen, finden wir bei Roger Baco. In einem eigenen Kapitel[2]), sucht er den Satz zu beweisen, „dass Wärme durch Bewegung entstehe", und erläutert dies an folgendem Beispiele:

Fällt ein längerer Balken in horizontaler Richtung zur Erde, so strebt jeder seiner materiellen Punkte nach dem Erdmittelpunkt. Aber nur der Mittelpunkt des Balkens kann dem senkrechten Zuge folgen, die übrigen müssen parallel mit der Lotlinie durch den Mittelpunkt zur Erde fallen, wodurch sie einen Zwang (violentia) erleiden. Dieser Zwang ist die Ursache, dass Wärme entsteht, wie wir aus der Erfahrung wissen. Eine Kraft will den Punkt zum Erdzentrum hinziehen, während er durch die Festigkeit des Holzes gezwungen wird, eine andere Richtung zu nehmen. Dadurch wird eine Lockerung der Teile angestrebt, was sich als Wärme äussert, und deshalb erwärmt sich ein Körper, der zur Erde fällt. Die Wirkung kann noch dadurch verstärkt werden, dass ausser der natürlichen Anziehungskraft noch eine weitere, wie z. B. durch Druck oder Stoss von aussen dazu kommt. Eine solche mitgeteilte Kraft findet sich vor allem bei Bewegungen nach aufwärts, weshalb sich da besonders Erwärmung zeigt, die um so grösser ist, je mehr die zweite Kraft der Schwerkraft entgegenwirkt.

---

[1]) Vgl. Poggendorff: Gesch. d. Phys. 31. Rosenberger; Gesch. d. Phys. 21.
[2]) Op. mai. l. 167.

C. Akustik.

Auch die Lehre vom Schall gründet im Mittelalter hauptsächlich auf Aristoteles, der seine Kenntnisse entweder von Pythagoras entlehnt oder doch nicht über dessen Mitteilungen hinausgeht[1]). Hiernach ist die Luft in den Ohren bis zum Unbeweglichwerden eingeschlossen, damit jede Einwirkung scharf gefühlt werde. Nach Avicenna[2]) ist der Schall nicht die Bewegung der Luft selbst, sondern eine Begleiterscheinung dieser Bewegung. Der Vorgang im Ohre besteht darin, dass die Bewegung der an sich bewegungslosen Ohrluft zum Nerv gelangt. Die Luft kann an das Ohr direkt wie an eine Wand anschlagen oder vorher schon von einem Gegenstande zurückgeworfen worden sein, wie es beim Echo der Fall ist. Nach Qazwînî beruht der Schall auf einer wogenden Bewegung der Luft[3]):

Al Gazzâlî nimmt an, der Schall drücke durch die Ohrenluft auf den Gehörnerv, der wie ein Fell an der Trommel (tympanum) sich ausbreitet[4]).

Was die Instrumente für wissenschaftliche Versuche betrifft, so finden wir in den Schulen des Mittelalters nur den Monochord (Pythagoras[5]).

Roger Baco[6]) verweist nach Aristoteles vor allem auf den Unterschied in der Spezies, die zum Auge kommt und der bewegten Luft, deren Wirkung sich zum Gehöre fortpflanzt. Letztere kann von allen Seiten her das Organ treffen, ohne dass Brechung oder Reflexion nötig wäre. Der Schall erklärt sich durch das Zittern der Teile eines in Schwingung versetzten Gegenstandes. Diese Schwingungen pflanzen sich in der umgebenden Luft von Teilchen zu Teilchen fort. Diese Teilchen erleiden eines nach dem andern eine Verdünnung und treten durch die Kraft des Anstosses der Reihe nach

---

[1]) Näh. Rosenberger: Gesch. d. Phys. I. Teil 20. Poggendorf l. c. p. 31.

[2]) Vgl. Winter: Avicennae op. egreg. l. c. p. 42.

[3]) Ethé: Qazwînis Kosmog. p. 201.

[4]) Ebenda p. 27 Anm. Eine Reihe weiterer arabischer Arbeiten über den Schall findet sich bei Suter verzeichnet: Ztschr. p. 23 und 42, so über tönende Instrumente, genannt Trompete und Pfeife (Flöte) von Muritos (?), über ein tönendes Instrument, das 60 Meilen weit gehört wurde; eine Schrift über das schreiende Glöcklein von einem sonst unbekannten Sâ'âtos, eine Abhandllung über die trompetenartige Pfeife; über die blähende Pfeife und über die Orgel; über pfeifende Instrumente von el Gazarî. Vgl. E. W. Beiträge V. 1905.

[5]) Etwas anderes ist die Technik wie im Orgelbau und Glockenguss (resp. Hämmern), die schon im 6. und 7. Jhrh. und besonders seit Karl dem Grossen in den Klöstern Deutschlands und Irlands Bedeutendes leistete.

[6]) Op. mai. II. 56f.; 72f.; 418f. 527.

aus ihrer natürlichen Lage, wodurch sie in Schwingung geraten, die den Schall erzeugen. Und zwar verursacht jedes vorhergehende Teilchen Verdünnung und Schwingung des nachfolgenden Luftteilchens, so dass nach dem ersten Teilchen das zweite schwingt, nach dem zweiten das dritte u. s. f. Und so entsteht aus der Schwingung des zweiten Teilchens der zweite Schall, der dem ersten wesentlich gleicht und nur schwächer ist, da jede Kraftbewegung immer schwächer wird, bis sie ganz verschwindet. Weil also jeder Ton unmittelbar aus Schwingungen entsteht, sonst aber keine feste und bleibende Sache ist, kann nicht ein Ton aus dem andern entstehen, und deshalb haben wir beim Schall auch nicht die Wirkung einer Spezies auf das Organ, sondern den Vorgang selbst, der in der Nähe des Organs so stark sein kann, dass das Organ zerstört wird.

Schliesslich konstatiert Baco noch mit Aristoteles, dass der Schall sich viel langsamer als das Licht fortpflanzt. Wir sehen, sagt er, schon bei einiger Entfernung eher das Beil eines Arbeiters niederfallen als wir den Schlag hören, und sehen viel eher den Blitz als wir den Donner vernehmen[1]).

D. Mechanik.

In der Mechanik stehen die Scholastiker hinter den Alten und Arabern zurück. Ihr Gebiet war mehr die philosophische Spekulation. Nur vereinzelte, wie Gerbert, Jordanus Nemorarius und später Nicolaus Cusanus und insbesonders Lionardo da Vinci hatten sich näher mit mechanischen Problemen befasst.

Auch bei Roger Baco finden sich nur spärliche Angaben, die mir hier kurz zusammenstellen wollen:

1.[2])

Die Bewegung eines Gegenstandes wird durch Veränderung der Lage hinsichtlich seiner Umgebung erkannt. Sie vollzieht sich in der Zeit und deshalb ist die Bewegung Subjekt der Zeit und die Zeit das Mass für die Bewegung.

2.[3])

Wo ein Körper ist, kann ein anderer nicht sein. Die Materie besteht aus unendlich kleinen molekularen Teilchen. Jedes dieser Teilchen, wie klein es auch sein mag, ist noch ein Körper, hat drei Dimensionen und Schwere.

3.[4])

Eine gewisse Kraft, die einen beweglichen Gegenstand eine gewisse Strecke weit bewegen kann, vermag verdoppelt das Zweifache zu leisten.

---

[1]) Ähnlich auch Qazwînî. Cf. Ethé . . p. 201.

[2]) Op. mai. II. 117; I. 167.

[3]) Op. mai. I. 166; II. 436, 44 f.

[4]) Op. mai. II. 443.

Bewirkt die Kraft eine Formveränderung an demselben Gegenstand, so erzeugt die doppelte Kraft das Zweifache der intendierten Form, aber nicht dem Raume nach. Daraus, bemerkt Bridges, ersieht man, dass Baco eine Ahnung hatte von der Wahrheit, dass ein gewisser Betrag von Energie sich in Bewegung und Schnelligkeit oder zur Änderung der Beschaffenheit eines Körpers umsetzen kann.

4.[1])

Schwere Körper werden vom Erdmittelpunkt angezogen und fallen deshalb zur Erde. Auch die Mauern eines Gebäudes, die parallel zu sein scheinen, sind es tatsächlich nicht, da sie die Richtung zum Erdmittelpunkt haben.

5.

Die Wage.

Die Verwendung der Wage zu wissenschaftlichen Untersuchungen ersehen wir besonders aus der sogenannten „Wage der Weisheit" von Alkhâzinî. Diese war ganz nach Archimedischen[2]) Sätzen konstruiert und diente hauptsächlich zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes. Sie hatte bis zu fünf Schalen, von denen wenigstens eine an einem graduierten Hebelarme verschiebbar war. Die Messungen konnten sehr genau in Luft und in Flüssigkeiten ausgeführt werden. Es wurden mittelst derselben auch Metallegierungen bestimmt, selbst echte Edelsteine gestattete sie von Imitationen zu unterscheiden[3]). Ferner erkannte man, dass ein Körper auch in der Luft an Gewicht verlieren müsse.

Roger Baco stellt keine wissenschaftlichen Untersuchungen mittelst der Wage an, sondern befasst sich vielmehr mit den statischen Gesetzen[4]), und zwar ganz im Anschluss an Jordanus Nemorarius Schrift: de Ponderibus. Diese Schrift hinwiederum fusst auf den Prinzipien der griechischen Wissenschaft.

Von den Griechen kommen über diesen Gegenstand überhaupt folgende Werke in Betracht[5]):

---

[1]) Op. mai. I. 126 und II. 497.

[2]) Siehe bei Duhem P.: Les origines de la Statique, Paris 1905. p. 10, E. Wiedem.: Beiträge VI. Sitz.-B. der Societ. Erlangen 1906.

[3]) und zwar mittelst des spez. Gew. Vgl. Rose: Aristot. de lap. Ztschr. f. d. Altert.-Kunde 1874 p. 333. u. E. W. Beiträge III. Sitz.-B. 1905 p. 253 f.

[4]) Die Wage der Weisheit, teilweise herausgegeben von Khanikoff in der American-Orient. Society VI. p. 1—128. Vgl. Bindl: Versuche der Alten und Araber. Programm 1903 Bamberg. — Weitere arabische Schriften über die Wage siehe bei Suter: Ztschr. p. 24, 42; Abh. 41, 185.

[5]) Näh. bei Duhem P. Les origines de la Statique . . . p. 5; 62.

1. Die μηχανικὰ προβλήματα des Aristoteles[1]).
2. Drei Fragmente von Euklid[2]):

a) de ponderoso et levi, worin mit grosser Genauigkeit die Fundamentalprinzipe der peripatetischen Schule auseinandergesetzt werden.

b) ein Fragment, bestehend aus 4 Sätzen, worin versucht wird, das Gesetz der Wage mit der peripatetischen Dynamik zu verbinden. Dabei wird die Theorie der römischen[3]) Wage (mit ungleich langen Hebeln) erörtert;

c) ein Fragment, das gleichsam als Bindeglied zwischen den beiden genannten gelten kann. Es wurde von Woepcke aufgefunden und übersetzt unter dem Titel: „Buch des Euklid über die Wage[4])."

3. Eine Schrift von Archimedes über die Mechanik.

Die Schrift des Euklid „de ponderoso et levi" hat einen grossen Einfluss auf die Araber, insbesonders auf Tâbit ben Korra[5]), und auf die Gelehrten des Westens[6]) ausgeübt. Auch die Statik des Jordanus Nemorarius, die in Wirklichkeit ein Originalwerk und nicht eine einfache Kompilation zu sein scheint, fusst darauf. Aber auch die vier Sätze des zweiten Euklidischen Fragments und die Problemata des Aristoteles finden in dem Werke des Jordanus Verwertung[7]). Übrigens existierten im 13. Jahrhundert unter dem Titel ‚Jordanus Nemorarius, de ponderibus' drei Schriften[8]): Der ursprüngliche Text; ein Kommentar hierzu von einem peripatetischen Philosophen und ein zweiter noch weiter ausgearbeiteter Kommentar von einem Mechaniker. Roger Baco scheint den ursprünglichen Text und den ersten Kommentar hierzu gekannt zu haben[9]).

Wir wollen nun seine Ausführungen hören[10]):

Wir nehmen eine Wage mit gleich langen und homogenen Armen,

---

[1]) Vgl. vorlieg. Abh. p. 25.

[2]) ib. p. 78.

[3]) Sie sind wenig genau. Man fand solche in Herculanum und Pompeji. Die alten Ägypter besassen schon die viel genauere zweihebelige Wage mit senkrechtem Zeiger. Vgl. Hirschberg: Gesch. d. Augenheilkunde . . p. 22.

[4]) p. 62.

[5]) Liber Charastonis. Vgl. p. 79.

[6]) Jordanus Nem., Leon. da Vinci, Cardanus u. a. Näh. bei Duhem l. c.

[7]) Duhem l. c. p. 108.

[8]) ib. p. 107.

[9]) ib. p. 355.

[10]) op. mai. I. 169—174.

Klosterbibliothek begraben und übte so keinerlei Wirkung auf die Entwicklung der Wissenschaft aus. Ob sie mit der Arbeit des Arabers in Verbindung steht, kann nicht angegeben werden[1]).

Auch Vitello[2]) erklärt den Regenbogen durch Reflexion und Refraktion der Strahlen von Sonne und Mond in den Wassertropfen. Er nimmt drei Hauptfarben an. Nur zwei Regenbogen, von denen der eine schwächer ist und die Farben in umgekehrter Reihenfolge hat, können entstehen. Die Corona[3]) lässt er durch Refraktion des Sonnenlichtes (oder Mondlichtes) von den feuchten Dämpfen aus zum Auge kommen. Ebenso erscheint die Virga[4]) durch Refraktion der Sonnenstrahlen in den Wasserdämpfen der Luft.

Nach dieser historischen Umschau gehen wir nun wieder zu Roger Baco.

Wie er selbst sagt, knüpft er an Aristoteles, Seneca und Aricenna an und hat also einen eigentlichen Fortschritt nicht zu verzeichnen. Wir wollen seine Auseinandersetzungen kurz zusammenfassen.

1. Nach dem Muster des Stagiriten zeigt er, dass die Regenbogenfarben sich auch anderwärts finden, so im Iris-Stein[5]), bei jedem kantigen Kristall, an den Tautropfen, im Schlagewasser der Ruder, im Staubwasser der Wasserräder; wenn man Wasser heftig gegen die Sonne speit, in einem Glas mit Wasser, in der Kugel der Öllampe, beim Sehen durch feine Gewebe, im Schatten der Augenwimpern u. s. f.[6]).

2. Sodann folgt die Ermittlung der Grösse des sichtbaren Bogenstückes und zwar mit Hilfe des Astrolabiums. Das Maximum beträgt 42° und zwar dann, wenn die Sonne im Horizonte steht; steht sie 42° über dem Horizonte, so ist vom Regenbogen höchstens noch ein Stückchen von der Krümmung am Horizonte sichtbar. Daraus folgt, dass zu gewissen Tageszeiten und in gewissen Gegenden kein Regenbogen sichtbar sein kann. — Durch den Mond kann nur bei Vollmond eine Iris entstehen.

3. Optische Entstehungsursache.

Der Regenbogen kann nur durch reflektierte Strahlen gesehen werden;

[1]) Vgl. Sitz.-Ber. der Münch. Akademie 1871, hist. phil. Abt. 171 ff. von Preger. — Heller: Gesch. d. Phys. p. 208.

[2]) Risner: Vit. opticae X. 64—84.

[3]) Corona ist Hof um Sonne, nicht die äussere Atmosphäre der Sonne (Protuberanzen).

[4]) Virga ist die sog. Regen- oder Wassergalle (Seneca, nat. quaest. 1,9), das regenbogenartig gefärbte Stück eines nicht ausgebildeten Regenbogens.

[5]) nach Solinus. Vgl. Rose: Arnold Saxo de virtutibus lapidum in der Ztschr. f. deutsche Altertumskunde (18) 1874/75.

[6]) Beugungserscheinungen bei dem Gewebe und den Augenwimpern.

denn hätten wir einfach einfallende Strahlen, so bliebe er fest an seinem Platze und folgte nicht der Bewegung des Beobachters, die er parallel zum Bogen und in der Richtung auf ihn zu oder von ihm weg ausführt. Auch würde nicht jeder Einzelne einen eigenen Bogen sehen, was daraus folgt, dass die Linien, die man sich durch Sonnen- Augen- und Regenbogenzentrum gezogen denkt, parallel sind. Auch die Farben der Iris würden sich ohne Reflexion der Strahlen nicht zeigen. Die Endursache des Regenbogens sind die wässrigen Dünste, die in der Luft zerstreut sind, wie schon aus dem Buche der Genesis bekannt. Durch verschiedene Reflexionen und Brechungen vereinigen sich unzählige Strahlen, und durch diese Vereinigung werden die Dünste sowohl aus dem Wasser und den Wolken und der Erde entwickelt als auch wieder aufgezehrt. Die Sonnenstrahlen erzeugen demnach die Iris und lösen sie auch wieder auf. Sie muss also durch mehrfache Reflexionen der Sonnenstrahlen entstehen[1]). Durch einfache oder gebrochene Strahlen kann sie nicht erscheinen, da sonst die tauige Wolke gleichmässig gefärbt sich zeigen würde. Nehmen wir einen Kristall, so finden sich da auch ähnliche Farben, und zwar werden sie durch einfach einfallende und gebrochene Strahlen erzeugt; aber ein und dieselbe Farbe wird von verschiedenen Beobachtern in derselben Lage gesehen. Bei der Reflexion ändert sich das Bild mit der Ortsveränderung des Beobachters, und so ist es auch beim Regenbogen, der auf der Wolke sich fortbewegt, wenn der Beobachter seinen Platz ändert. Also muss er durch Reflexion entstehen. Sie findet an jedem Tröpfchen statt wie an einem sphärischen Konvexspiegel, und da die Tröpfchen ohne Unterbrechung herabfallen, so hat es aus der Ferne den Anschein als bildeten sie ein zusammenhängendes Ganzes.

4. Erklärung der Farben.

Die sphärischen Konvexspiegel verändern, zumal wenn sie sehr klein sind, Gestalt uud Quantität eines Dinges auf verschiedene Weise, wobei auch Modifikationen an den Farben auftreten können. In ähnlicher Weise kann auch bei den Regentröpfchen im Bogen durch Reflexion ein Farbenspiel entstehen. Diese Farben sind aber keine wirklichen Farben, sondern vielmehr ein Schein und entstehen aus einem Sehdefekt. Beim Kristall hingegen mit einer vielgestaltigen Oberfläche ergeben sich die Farben aus den verschiedenen Einfallsrichtungen der Strahlen.

Übrigens ist gerade der hexagonale Irisstein (lapis hexagonus) ein Zeichen, dass die Regenbogenfarben nur durch das Auge entstehen. Hält man ihn nämlich vor einem dunklen Ort an das Auge, so sieht man dabei die Farben. Ähnliches vollbringt die dunkle Wolke. Aristoteles hat unrecht, wenn er meint, die verschiedenen Farben entstünden dadurch, dass die Strahlen auf dichtere und dünnere Schichten fallen. Wir können 5 Hauptfarben unterscheiden: weisslich, blau, rötlich, grün und schwärzlich. Wenn Aristoteles im Buche de sensu et sensato sieben annimmt, so trifft das zu, wenn man blau und grün nochmals unterscheidet[2]).

[1]) op. mai. I. 44. II. 188.

[2]) Über die Farbenwahrnehmung am Regenbogen bei den alten Griechen vgl. Hirschb.: Gesch. d. Augenh.-K. p. 182 f.

die an einem beweglichen Griffe gehalten werden. Legen wir nun beiderseits gleich schwere Gewichte auf, so bleibt die Wage im Gleichgewicht, d. h. die Arme stehen horizontal, und dies auch dann noch, wenn beiderseits immer gleiche Gewichte zugelegt werden. Ist auf einer Seite ein Übergewicht vorhanden, so tritt der Hebel aus der Gleichgewichtslage heraus und die Enden beschreiben eine Kreislinie. Ein Übergewicht existiert momentan auch dann, wenn man mit der Hand einen der Wagbalken aus der Gleichgewichtslage bringt. Hierdurch wird er schwerer und sinkt herab. Durch den Druck wird er dem Erdmittelpunkt genähert, wodurch er schwerer wird [1]). Man sollte nun meinen, er kehre nicht mehr in die Gleichgewichtslage zurück, wenn auch gleiche Gewichte aufliegen. Dies findet aber nach Jordanus und auch nach der gewöhnlichen Beobachtung nicht statt. Jordanus, sagt Baco, lehrt weiter, dass zwischen Fallgeschwindigkeit und Gewicht ein Verhältnis bestehe. Der Wagbalken wird nämlich, je mehr er sinkt, desto schwerer, also muss er auch immer schneller sinken und sollte nicht mehr in die Gleichgewichtslage zurückkehren [2]). Fernerhin sagt Jordanus, dass ein Körper seiner Lage nach weniger schwerer sei als ein anderer, wenn der erstere aufsteigt, während der letztere niedersinkt. Nun aber lässt sich beweisen, dass dasjenige Gewicht, welches die Neigung nach unten bewirkt, seiner Lage nach immer weniger schwer wird als das andere und deshalb wieder emporsteigt, so dass Sinken und Steigen der Gewichte wechseln und eigentlich nie aufhören sollten. Wie ist nun das sinkende Gewicht seiner Lage nach weniger schwer? Um dies zu zeigen, beschreiben wir um das Zentrum des Wagebalkens einen Kreis so, dass die Gewichte sich in der Peripherie bewegen. Sodann ziehen wir einen horizontalen und vertikalen Durchmesser. Oberhalb und unterhalb des horizontalen Durchmessers schneiden wir auf der Peripherie gleiche Bogenstücke ab und ziehen die Sehnen, welche dem horizontalen Durchmesser parallel sind. Diese Sehnen teilen dann den vertikalen Durchmesser in ungleiche Teile, und zwar so, dass die Teile immer kleiner werden, je weiter sie vom horizontalen Durchmesser entfernt sind. Bewegen wir nun ein Gewicht und lassen wir es bis zum ersten Teilstrich sinken, dann steigt das entgegengesetzte um den ersten Teilstrich u. s. f. Die durchfallenen Höhen werden aber immer kleiner auf der Seite, auf welcher der Balken sinkt, und ebenso auf der anderen Seite die Höhen, in welche er steigt. Sinkt nun beispielsweise der rechte Balken bis zum nächsten Teilstrich, so ist die durchfallene Höhe kleiner als die Höhe, welche der linke Balken durchfallen würde, wenn er bis dahin sänke. Dies heisst, das sinkende Gewicht ist seiner Lage nach weniger schwer. Und daher die fortwährende auf- und absteigende Bewegung, sobald der Balken aus der Gleichgewichtslage gebracht ist. Die Luft, die dabei in Unruhe versetzt wird, trägt bei, dass er lange nicht zur Ruhe kommt.

---

[1]) Durch den Druck wird dem Balken Geschwindigkeit erteilt; das Zurückgehen in die horizontale Gleichgewichtslage erfolgt deshalb, weil der Schwerpunkt des Balkens unterhalb der Aufhängeachse sich befindet.

[2]) Die Geschwindigkeit ist nicht der Schwere, sondern der Fallzeit proportional.

6.

Baco hält die Luft für schwer[1]). Sie strebt wie das Wasser nach der tieferen Stelle. Das Feuer hingegen hat kein Gewicht; deshalb züngelt es in die Höhe.

Über die Grösse des Luftdruckes zeigt er jedoch keine Kenntnis und versteht deshalb auch Erscheinungen, die darauf beruhen, nicht zu erklären. So ist ihm die Tatsache bekannt, dass zwei kreisrunde Scheiben, die gut aufeinander passen, nicht parallel voneinander abgehoben werden können. Man müsse die eine etwas neigen, damit die Luft allmählich einströmen könne. Ebenso sei es, wenn ein Trinkglas unter Wasser liegt. Es kann nicht so herausgenommen werden, dass das Wasser im Glase das gleiche Niveau beibehält wie im Gefässe. Wie es allmählich in das Glas eindringt, so muss es auch allmählich wieder ausfliessen. Auf diese Weise werde verhindert, dass ein Vacuum entstehe.

Dass der Luftdruck dies bewirke, war Baco noch unbekannt.

7.

Gestalt der Welt und Erde[2]).

Die Welt muss von aussen gesehen notwendig die Gestalt einer Kugel haben.

Der Beweis folgt indirekt durch Ausschliessung aller anderen möglichen Figuren[3]) hauptsächlich auf Grund des entstehenden Vacuums.

Desgleichen hat die Welt nach innen die Eorm einer Hohlkugel, an die sich die verschiedenen Sphären anschliessen.

Auch die Erde ist eine Kugel. Dies folgt hauptsächlich aus der Tatsache, dass man von der Spitze eines Mastbaumes aus eher den Hafen sieht, als vom Verdeck aus. Es muss also der Meeresspiegel und mithin die Erde selbst Kugelgestalt haben[4]).

Wie sehr Baco von der Kugelgestalt der Erde überzeugt war, erhellt auch deutlich aus dem Satze, dass ein Gefäss mehr Wasser fasst,

---

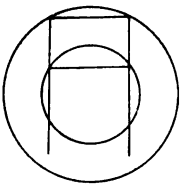
[1]) Op. mai. I. 132; 157.— I. 151.

[2]) op. mai. I. p. 152 ff.

[3]) unter diesen werden genannt die Linsen- und Eiform (Arist. de Coelo et Mundo), Pyramiden- und Kegelform . . .

[4]) Die Grösse des Erdradius geben Baco und Alfraganus auf ca. 3,250 Millien an (I. 225). Der Bogen der Erdkugel, der einem Grad am Himmel entspricht, beträgt ca. 56 Millien, $2984^{8}/_{63}$ Ellen. Ist 1 Meile = 4000 Ellen; 1 Elle = 1,5 Fuss (Bridges I. p. CXI) u. 1 engl. Fuss = 304,8 mm, so beträgt der Erdradius ca. 5844 km (gegen 6370 km in Wirklichkeit). Ebenso: 1^{0} = 15 geogr. Meilen = ca. 111 km (1 geogr. Meile = ca. 7,4 km) gegenüber 104 km nach Baconscher Berechnung.

wenn es an einem tieferen als wenn es an einem höheren Orte steht. Davon kann man sich schon überzeugen, wenn man das Gefäss das eine Mal in einem Keller, das andere Mal auf einem Sonnenuhrstand aufstellt. Da nämlich die Wasserteilchen leicht verschiebbar sind, so folgen sie überall der Anziehung des Erdmittelpunktes, weshalb die Oberfläche des Wassers stets eine Kugelhaube ist mit dem Erdmittelpunkt als Zentrum. An einem tiefer gelegenen Orte ist der zugehörige Radius kleiner als an einem höher gelegenen, die Kugelhaube also im Keller grösser als auf dem Turme, wie sich aus der Zeichnung und durch mathematische Berechnung ersehen lässt. Man kann also zur Wassermenge, die ein Geschirr an einem hohen Platze fasst, noch hinzugiessen, wenn es an einen tieferen Ort gebracht wird[1]).



Denselben Satz, bemerkt E. Wiedemann[2]), finden wir bereits in der über 100 Jahre früher verfassten ‚Wage der Weisheit' des Al Khâzinî. Auch da sei der Beweis aus der Kegelgestalt der Wasserflächen genommen; doch sei die Entwicklung des Arabers eleganter als die Roger Bacos.

8.

Ebbe und Flut[3]).

Dass die periodische Wiederkehr von Ebbe und Flut mit dem Mondwechsel in Zusammenhang steht, war schon den Alten aufgefallen.

Roger Baco verwirft zunächst die Ansicht des Alpetragius[4]), der meint, Ebbe und Flut entstünden deshalb, weil das Wasser weit von den anderen Sphären entfernt sei und sich deshalb mit um so grösseren Hindernissen bewege. Ebbe und Flut finden vielmehr regelmässig statt, so wie der Mond am Himmel sich ändert.

Von Albumazar[5]) erwähnt er, dass er alle Schwankungen bei Ebbe und Flut bestimmt habe. Solche fänden alle Tage und Nächte je nach den verschiedenen Mondphasen stärker oder schwächer statt; ja auch die Sonne übe einen Einfluss aus. Eine tiefere Erklärung gebe jedoch der Araber nicht an.

Diese will nun er selbst aufstellen.

---

[1]) Op. mai. 157f.

[2]) Annal. d. Phys. 1890. p 319. — Eine Schrift über die Kugelform der Welt und was sie enthält, hat auch Alkindi verfasst. Suter: Ztschr. p. 10. Eine weitere Abhandl. befasst sich mit der sphär. Oberfläche des Meeres. ibid.

[3]) Op. mai. I. 139ff. — Über Ebbe und Flut schrieben auch Alkindi u. a Vgl. Suter: Ztschr. p. 14 u. Anm. p. 46; p. 42 und Abh. p. 23. Vgl. Qazwînî von Ethé p. 212.

[4]) Im Buche de motibus coelestibus.

[5]) In maiore introductorio astronomiae.

Wenn der Mond über das Meer heraufsteigt, so fallen seine Strahlen schief auf, weshalb ihre Kraft gering ist. Die Dämpfe und Dünste, die am Meeresgrunde schlummern, werden dadurch nur gehoben, so dass die Wassermassen gleichsam aufwallen; aber an die Luft werden sie nicht gezogen und auch nicht aufgezehrt. Kommt jedoch der Mond immer mehr in die Mitte des Himmels, so nähern sich die Strahlen fortwährend der senkrechten Richtung, wirken stärker, locken die Dämpfe an die Luft und zehren sie auf, weshalb die Flut immer schwächer wird. Sobald der Mond die Mittagslinie überschritten hat, beginnt die Flut von neuem. Es ist dabei ähnlich wie bei einem Topfe mit Gemüse, den man dem Feuer zusetzt. Zuerst entwickeln sich die Dämpfe und der Brei wallt auf. Wird aber das Feuer stärker, so werden die Dünste aufgezehrt und der Brei bleibt ruhig am Boden des Geschirres. Beim Meere brauchen aber die Dämpfe nicht heiss aufzusteigen, denn auch des Nachts steigen Dünste kühl von der Erde auf und bilden Wolken.

Eine andere Erscheinung bespricht Baco nach Albumazar.

Während der Mond in dem einen Quadranten Flut erzeugt, tritt sie auch im entgegengesetzten auf, also zugleich auf der dem Monde zugekehrten und abgekehrten Seite der Erde. Der Grund hierfür liege darin, dass der Sternenhimmel oder neunte Himmel durch und durch dicht sei und deshalb wie ein Spiegel die Mondstrahlen auf die Erde reflektiere. Diese reflektierten Strahlen wirken schwächer als die direkten und bewirken deshalb auch eine schwächere Flut.

Was den Einfluss der Sonne auf Ebbe und Flut anlangt, so sei dieser viel geringer als der des Mondes. Die Kraft der Sonne sei eben so gewaltig, dass unter jedem Einfallswinkel der Strahlen die entwickelten Dämpfe aufsteigen und aufgezehrt werden. Noch geringer sei dann der Einfluss der anderen Gestirne sowohl infolge ihrer grossen Entfernung als auch ihrer geringen Grösse (?).

Wir sehen aus diesen Erklärungsversuchen Bacos, mit welchen zum Teil sinnreichen Mitteln man sich behalf, solange das Attraktionsgesetz (Newton) nicht bekannt war.

E. Magnetismus und Elektrizität.

Die Kenntnisse der Alten und Araber über den Magnetismus sind in einer Reihe von Schriften behandelt[1]). Die wichtigsten Eigen-

[1]) z. B. Arnoldus Saxo und Aristoteles de lapidibus von Valent. Rose in Ztschr. f. deutsche Altert.-Kunde 18 (1874/75) p. 321 ff.; Palm: Der Magnetismus im Altert. (1864); Martin: Observat. et theor. . . . Rom (1864); v. Urbanitzky: Elektrizität und Magnetism. im Altertum; Klapprot u. Alex. v. Humb. über Erf. d. Komp.; E. Wiedemann: Beiträge z. G. d. Nat. Wiss. bei den Arab. Phys.-mediz. Sozietät (Erlangen) 1904 Heft 36 p. 309 ff.; ebenso in Ann. der Phys. . . . 1878 p. 320. Vgl. Hirschberg: Gesch. d. Augenheilk. p. 47 f.

schaften, wie Anziehungskraft, Einstellung in die Nordsüdrichtung, Influenzwirkung waren auch den Scholastikern bekannt[1]). Was den Kompass anlangt, so finden wir denselben schon 1190 in einem satyrischen Gedichte von Guyot de Provins und wiederum bei Jaques de Vitry in seiner historia orientalis (1215—1220) und bei Gauthier d'Espinois ca. 1250 erwähnt[2]).

Für Roger Baco müssen wir auf Petrus Peregrinus zurückverweisen, dessen Kenntnisse über den Magneten wir im I. Abschnitt bereits dargestellt haben. Bacos Wissen deckt sich so ziemlich mit dem seines Freundes. Wir können es in folgende Sätze zusammenfassen[3]):

1. Wenn der Magnet Eisen berührt, so wird dieses angezogen; den entgegengesetzten Pol flieht dann dasselbe Eisen.

2. Kann sich ein Magnet frei bewegen (z. B. auf einem Holzkreuz, das auf Wasser schwimmt, so stellt er sich zum entsprechenden Himmelspol ein.

3. Wie am Himmel, so müssen wir auch beim Magneten vier Richtungen unterscheiden. (Wie das gemeint ist, findet sich bei Petrus Peregrinus erklärt.)

4. Wird vom Nordpol des Magneten ein Stück Eisen berührt, so bleibt dieses hängen, in welche Richtung man den Magneten bringen mag, d. h. die Kraft des Magneten überwiegt die Anziehung des Himmelspoles. Die Anziehung des Magneten auf das Eisen ist so stark, dass, wenn letzteres auch in einem Glasgefässe unter Wasser liegt und wenn auch noch die Hand unter das Gefäss gehalten wird, das Eisenstück sich im Wasser aufrichten und der Anziehung des Magneten folgen kann. Wird dann dem Eisen der entgegengesetzte Pol des Magneten genähert, so wird es abgestossen, und wird nach der Berührung der Magnet entfernt, so stellt sich das Eisen selbst nach der entsprechenden Himmelsrichtung ein, d. h. es ist selbst ein Magnet geworden[4]).

5. Nicht der Polarstern bewirkt diese Einstellung, wie man glaubt,

---

[1]) So Albert Magnus u. Vincenz v. Beauvais. Vgl. Sighart: Alb. Magn. Sein Leben . . . Regensb. 1857 p. 322. Vinc. Belluac. Spec. Nat. XV. 9.

[2]) Heller: Gesch. d. Phys. p. 208ff. Unter der Regierung Ludwigs des Heiligen (1226—1276) haben sich, wie Riccioli berichtet, die französischen Schiffer des Kompasses bedient. Die Magnetnadel liess man auf einem hölzernen Kreuz im Wasser schwimmen. Die erste Bussole wird 120 n. Chr. bei den Chinesen erwähnt. Heller ibid. Bei den Arabern dürfte die erste Kunde vom Gebrauche des Kompasses aus dem Jahre 854 n. Chr. sein. Näh. darüber und über Magnetismus bei den Arabern siehe E. Wiedem. in Sitzb. d. Phys.-med. Soz. 1904 S. 322ff.

[3]) op. mai. II. 202, 218f., 437, 519; op. min. (Brewer) 383f.; 386; de nullitate magiae 537f.

[4]) Baco hat dabei wohl sehr hartes Eisen oder Stahl vor sich.

sondern der betreffende Teil des Himmels. Gerade so wie die Nordrichtung müssen die drei anderen Himmelsrichtungen wirken (vgl. Nr. 3 u. Petrus Peregrinus). Es gibt ausser der Anziehung zwischen Eisen und Magnet auch eine solche zwischen Gold und allen Metallen und dem Magneten, wie im Buche de proprietatibus gelehrt wird[1]).

6. Dass auch die Pflanzen Magnetismus enthalten, schliesst Baco aus der Beobachtung, dass gespaltene Triebschosse einer Haselstaude, die an den Spitzen zusammengebunden werden, sich von selbst wieder nähern und zusammenwachsen.

7. Schliesslich wird noch der Versuch des Petrus Peregrinus mitgeteilt, eine durch magnetische Kraft sich selbst bewegende Armilla zu konstuieren.

Von elektrischen Erscheinungen war im Altertum und Mittelalter[2]) nur die Anziehung leichter Körperchen durch den geriebenen Bernstein bekannt. Roger Baco erwähnt diese Eigenschaft nicht, obwohl er den Bernstein in der Bezeichnung Elektrum kennt[3]).

Es finde sich, wie Plinius, Isidor und andere berichten, auf den Glosaphisinseln zwischen Deutschland und England, welche die elektrischen heissen, ein kostbarer Stein, das Elektrum. Er entstehe aus dem Safte des Pinienbaumes, der im Meere zu einer festen Masse werde. In der Sonne und im Meerwasser sei er durchsichtig und habe verschiedene Farben: weisslich, rötlich, braun, und besitze auch verschiedene Härte. Manchmal fänden sich auch Kräuter und Tiere eingeschlossen.

Aus den Berichten der Alten ist ihm Elektrum auch als Metalllegierung bekannt. Er schreibt:

Erz, Messing (Orichalcum), und Electrum entstehen aus Kupfer. Wird dem gereinigten Kupfer Staub von goldfarbigem Erz (?) beigemischt, so beginnt es glänzend zu werden. Wird noch mehr hinzugegeben, so haben wir Messing, und gibt man noch weiter dazu, so entsteht das Electrum (Metall von der Farbe des Bernsteins), das hauptsächlich zur Herstellung von wissenschaftlichen Instrumenten verwendet wird.

F. Bacos Vorahnungen späterer Erfindungen.

Zu allen Zeiten wurden viele Probleme erdacht, die dann oft erst hundert oder noch mehr Jahre später durchgeführt werden konnten.

[1]) Steinschn: Zur pseudoepigr. Lit. des Mittelalters. p. 58: „Es sagt Aristoteles im Buche von den Steinen, dass die Arten des Magnets viele sind, dass manche Gold, manche Silber . . . anziehen. Vgl. II. Abschn. uns. Abh. „Aristoteles". Ebenso Ruska: Das Steinbuch aus der Kosmographie des al-Kazwini. p. 33. Dort werden genannt: Goldmagnet, Silber-, Blei-, Haarwoll-, Fingernägel . . . Magnet.

[2]) Op. minus (Brewer) p. 385 ff.

[3]) Über elektrische Beobachtungen bei den Arabern vgl. E. Wiedem. in Sitz.-Ber. d. Phys.-med. Soz. Erlangen. 1904 p. 34 ff.

Der Wunsch nach möglichst schneller Bewegung zu Wasser und zu Lande, auf dem Wasser wandeln, fliegen, grosse Lasten mit geringer Kraft bewältigen zu können, ein perpetuum mobile zu erfinden, existierte früher so gut wie heute. Archimedes, Heron, Ktesibus und andere hatten im Altertum eine Reihe von mechanischen Apparaten erfunden[1]); die Araber nahmen ihre Arbeiten in Empfang und suchten darauf weiter zu bauen[2]). Roger Baco mag von ihren Problemen flüchtige Kunde erhalten und sie, unterstützt durch seine lebhafte Phantasie, auch für ausführbar erachtet haben. Er schreibt[3]):

„Es können Wasserfahrzeuge gemacht werden, welche rudern ohne Menschen, so dass sie wie die grössten Fluss- und Seeschiffe dahersegeln, während ein einziger Mensch sie leitet und mit einer grösseren Schnelligkeit, als wenn sie voll Ruderer wären. Ebenso können Wagen hergestellt werden, die von keinem Tier gezogen werden und mit einer unglaublichen Gewalt daher fahren, wie wir es von den Sichelwagen der Alten hören. Es können Flugmaschinen gefertigt werden, so dass ein Mensch in der Mitte des Apparates sitzend diesen durch einen künstlichen Mechanismus leitet und die Lüfte wie ein Vogel im Fluge durchmisst. Ferner können Instrumente gemacht werden, die an sich klein sind, aber hinreichen, um die grössten Lasten zu heben und niederzudrücken. Sie sind nur drei Finger hoch und ebenso breit und es kann damit ein Mann sich selbst aus dem Kerker heben. Auch kann ein Apparat hergestellt werden, wodurch ein einziger Mann tausend Menschen zu sich heranziehen kann entgegen ihren Anstrengungen. Desgleichen kann man Instrumente zum Gehen auf dem Wasser herstellen, sowie zum Tauchen ohne irgend welche Gefahr, wie Alexander der Grosse solche Vorrichtungen herstellen liess."

Fassen wir nun diese Mitteilungen näher ins Auge! Von dem Apparat zum Fliegen bemerkt er selbst, dass er ihn nicht gesehen habe und auch niemand wisse, der ihn gesehen hätte, wohl aber einen geschickten Mann kenne, der die Ausführung eines solchen Kunstwerkes erdacht habe. Die Araber befassten sich in der Tat mit diesem Problem. Suter teilt mit[4]), dass nach dem Berichte von El Maqqarî ein gewisser Abû 'l-Qâsim 'Abbâs Ben Firnâs, der Weise von Anda-

[1]) Näheres Bindel: Versuche der Alten und Araber... Programm Bamberg 1903. Dort auch die weitere Literatur über die in Frage stehenden Probleme.

[2]) Arbeiten der Araber über die mechanischen Probleme der Alten gibt Suter an in Ztschr. d. M. l. c. p. 18, 21, 42; Abhandl. l. c. p. 126, 226. Vgl. E. Wiedemann: Beiträge zur Gesch. der Naturwissenchaften VI. Sitz.-Ber. der phys.-med. Soz. Erlangen (38, 1906).

[3]) De secretis operibus . . . (Brewer: opera hact. inedita) p. 533.

[4]) Bibl. math. 1897, p. 85. Die richtige Übersetzung hierzu bei E. Wiedemann in Beiträge VI. p. 416.

lusien, derartiges versucht hätte. Er habe sich mit Federn bekleidet und sich zwei Flügel gemacht, mit deren Hilfe er von einer Anhöhe herunterfliegen wollte. Auf dem Boden angekommen, hätte er jedoch den Schwanz vermisst, auf den der Vogel sich niederlasse und sei deshalb verunglückt.

Was die Kunde von dem wunderbaren Hebe- und Druckapparat in der Grösse von drei Fingern betrifft, so erinnert das nur zu sehr an arabische Märchen, wie sie in „Tausend und eine Nacht" gesammelt sind. Hinsichtlich des Apparates, der einem einzigen Mann gestatte, die Stärke von tausend Männern überwinden zu können, mochte er von Heron[1]) oder Archimedes gehört haben, der mit seinem Flaschenzuge selbst die Erde aus den Angeln heben zu können vermeinte, wenn ihm ausserhalb ein fester Punkt gegeben wäre.

Bei den schnell sich bewegenden Wagen und Schiffen konnte Baco auch an die Konstruktion des sich selbst bewegenden Rades (perpetuum mobile) gedacht haben, wie wir bei Petrus Peregrinus sahen. Auch wäre nicht ausgeschlossen, dass die Araber schon Anwendungen von Herons Dampfturbine machten, wie hundert Jahre später Lionardo da Vinci sie zur Fortbewegung einer Barke benützte[2]).

Wenn man also so oft in Büchern und Zeitschriften Roger Baco als den Erfinder der Dampfmaschine, des Gasmotors und dergl. gepriesen findet, so beruht das auf Unkenntnis der Zeit und der Umstände, von denen seine anscheinend „prophetischen" Worte getragen sind.

---

[1]) Siehe Herons Mech. (Ausgabe v. L. Nix u. W. Schmidt, 1. B. cap. 1; 2. B. cap. 12 ff.). Hultsch: (Pappi Alex. collectio) et Heronis Alex. geometr. et stereometr. reliquiae. Berlin 1878. Vol. III. p. 1116 ff. Vgl. E. Wiedemann in Beiträge VI. p. 407.

[2]) Vgl. Lippmann: Lionardo da Vinci als Gelehrter und Techniker. Ztschr. f. Nat.-Wiss. Bd. 72 (1899) p. (19) 309.

Schlusswort.

Mit der vorliegenden Schrift ist die erste eingehendere Bearbeitung der Physik Roger Bacos versucht worden. Wie wir gesehen haben, ruhen die Kenntnisse des Scholastikers vollständig auf den Schultern der Alten und Araber. Aber trotz der weitgehenden Benützung fremder Autoren dürfen wir Bacos Arbeiten nicht als eine einfache Kompilation betrachten. Die klare und schlichte Darstellung der Probleme, die sich so wohltuend von der weitschweifigen, im Kommentieren des Aristoteles geübten Methode der Araber abhebt, zeigt, dass er sich das Dargebotene wohl angeeignet und auch selbständig verarbeitet hat. Dabei finden wir, dass er alles kritisch nachgeprüft und nicht ansteht, Ansichten selbst der besten Autoren zu bekämpfen und zu verwerfen. Hat er auch aus sich selbst wenig Neues gebracht, so hat er doch mit scharfem Geiste die rechten Normen für die Naturforschung erkannt, die Schwächen der Wissenschaft seiner Zeit durchschaut und gar manche Proben von geistvoller Beobachtung gegeben.

Personenverzeichnis.

A.

Abenragel, Haly **34.**
Abolays 25.
Abû 'l Qâsim . . . 99.
Adam v. Marisco 4, 9, **10** u. s. w.
Albertus Magnus 10, 15, 17, 25, 97.
Albattânî (Albategnius) **33.**
Albumazar **34**, 95, 96.
Alcabitius **35.**
Alex. Aphrod. 65.
Alex v. Hales 5, 15.
Alex. v. Humb. 96.
Alex. Magnus 25, 99.
Alfârâbî 14, **33**, 50.
Alfarġânî **33**, 94.
Alfons X. 13, 35.
Alhazen (Ibn al Haiṭam) 5, 12, 26, **29**, 30, 39 ff.
Alkhâzinî **91**, 95.
Alkindî **32**, 38, 43, 45, 46, 59, 60, 95.
Alpetragius 95.
Altavicus **36.**
Aluredus Anglicus 24.
Amaury v. Montfort 10.
Ammeratus Eug. Sicul. 26.
An-Nairîzi Honain 81.
Anthemius 12.
Antonius de Fantis Taruis. 13.
Antonius v. Padua 65.
Apianus 29.
Apollonius 23, 33
Apulejus 38, 65.
Arago 58.
Archimedes 13, 27, 33, 78, 91, 92, 99, 100.
Aristophanes 80.
Aristoteles 5, 8, 14 ff., **24** ff.
Arnoldus Saxo 25, 83, 96.
Artephius **35.**
Augustinus 15, 27, **28**, 38, 49.
Averroes 5, 24, **32**, 40, 45, 59, 62.
Avicenna 5, **31**, 39, 41, 51 ff., 81, 83, 89.

B.

Baarmann 26, **30**, 45, 60, 73, 76.
Baco v. Verulam 1, 17, 18, 21, 45.
el-Balchî cf. Albumazar
Balee 3.
Barth Anglic. 25.
Bernoulli 47.
Bindl 91. 99.
Björnbo 26, 27.
Bode 70.
Boëtius 27, **28**, 37.
Boll 26, 27.
Bonaventura 6, 7.
Boncompagni 30, 74.
Bonnecor 6.
Brewer 3, 5, 10, 13, 20, 21, 25, 97 ff.
Bridges 3, 11, 16, 19 ff.
Brockelmann 8, 30, 31—36.
Brown Rich. 22.

C.

Caesar Julius 64.
Campano de Novarra 10.

Cantor 27, 29.
Cardanus 14, 92.
Carra de Vaux 34.
Cassiodorus **28.**
al Chajjâmi 30.
al Chammâr 81.
Charles 3, 10—17, 20—23.
Chevreul 35.
Clemens IV. 5, 6, 11, 22.
Combach 20, 21, 26, 53, 67, 71, 72.
Constantinus Afric. **29**, 51, 52.
Cueva Juan 53.
Curtze 9, 26, 27.
Cusanus Nikolaus 1, 90.

D.

Demokritus 37, 56
Descartes 40, 45.
Desiderius v. Monte Casino 29
Diels 37.
Dieterici 14, 33, 39, 50, 82.
Diokles 12.
Domitian 37.
Dozy 65.
Duhem 26, 29, 91, 92.

E.

Edmund Rich. 10.
Ehrle 11.
Empedokles 37, 38, 45.
Epikur 37.
Erdmann 18.
Ethé 60, 81, 82, 89, 90, 95.
Euklid 23, **25**, 26, 32, 38, 57 ff.
Exner 39, 45.

F.

Fabius Strapulensis 29.
Al-Fârisî 78.
Felten 8, 9.
Fischer Kuno 18.
Fluegel 32.
Friedrich II. 31.

G.

Galenus 33, 34, 37, 51, 52, 55.
Galilei 1.
Gasser Achill 12, 14.
Gaubarî 12.
Al-Gazzâlî **34**, 89.
Gerbert 17, 90.
Gerhard v. Cremona 24, 30, 32—34.
Gerland u. Traumüller 29, 75.
Gerson ben Saloma 37.
Gilbert 13.
Gildemeister 35.
Govi Gilbert 26, 73, 75 76.
Gosche 34.
Gregor X. 7.
Grosseteste 4, 8 ff.
Günther 13, 65.
Guido Fulcodi (Gregor X.) 6.
Guyot de Provins 97.

H.

Haly cf. Abenragel
Heiberg 26.
Heinrich VIII. 20.
Heinze (Überweg) 8, 18, 32, 45.
Heitz 25.
Heller 64, 75—78, 83, 97.
Hellmann 12, 82.
Helmholtz 37, 39, 52, 77.
Hermanus Alem. 24, 25
Heron 26, 27, 59, 64, 70, 99, 100.
Hieronymus v. Ascoli 7.
Hilprecht 65.
Hipparch 38.
Hippocrates 33, 51.
Hirschberg 37, 39, 51, 52, 55, 77, 84, 92, 96.
Hispalensis cf. Johannes H.
Hyrtl 51, 52, 53.

J.

Jaques de Vitry 97.
Jebb 3, 10, 20.
Joh. Basingstocke 11.
Joh. Hispalensis 33, 34, 35.
Joh. v. London 10, 11, 12.
Joh. Peckham 10, 11, 75, 76, 79, 85.
Joh. Taisner 13, 14.
Jordanus Nemorarius (Joh. Saxo) **29**, 90—93.
Isaias 65.

Isak Israeli 36.
Isidor v. Sevilla **28**, 65, 98.

K.

Kamâl ed Dîn 78, 82.
Kaufmann 5, 36, 37, 39, 40, 51, 52, 60.
Kepler 40.
Khanikoff 91.
Klapproth 96.
Konrad v. Megenberg 80.
Krüger 38.
Ktesibius 13, 27, 99.

L.

Lactantius 80.
Leland 20.
Leonhard v. Pisa 23.
Leucippus 37.
Lionardo da Vinci 1, 90, 92, 100.
Lippert 51, 52
Lippmann 100.
Lucretius 37.

M.

El Maqqarî 99.
Martianus Capella 28
Mâschâllâh = Messehalac 35.
Martin 26, 96.
Michael Scotus 24, 31, 32.
Mörbecke Wilhelm von 24, 26.
Moses 65.
Mueller Ivan cf. Guenther.

N.

Narducci 30.
Nemorarius cf. Jordanus.
Newton 42, 74, 96.
Nikolaus Magister 10.
Nix 100.
Nizze Ernst 27.

O.

Oudin 3.
Oronce Finèe 21.

P.

Palm 96.
Parmenides 37.
Peckham cf. Johannes P.
Pena 27.
Petrus Peregrinus **11**—14, 71, 97, **98**, 100.
Petrus cf. Apianus.
Pitseus 3.
Plato 14, 36, 37, 38, 49—51.
Plato von Tivoli 33.
Plinius **28**, 55, 56, 64, 65, 80, **98**.
Poggendorf 65, 80, 81, 88, 89.
Poske 81.
Prantl 25.
Preger 83.
Priestleys 39, 76, 77, 78.
Ptolemäus **13**, **26**, 31, 33, 38, 46, 55—59, 70, 73—76, 85.
Pythagoras 37, 89.

Q.

Qazwînî 60, 81, 82, 89, 90, 95, 98.

R.

Raymund Galfredi 7.
Raymund de Lauduno 6.
Raymundus Lullus 65.
al-Râzzî 52.
Regimontanus 33.
Rhazes 40.
Riccioli 97.
Rich cf. Edmund R.
Risner 30, 39, 63, 83.
Rose 25, 26, 27, 83, 91, 96.
Rosenberger 88, 89.
Ruska 18, 80, 98.

S.

Schîrazî 82.
Schmidt 100.
Schnaase 70.
Scotus cf. Michael.
Seneca **28**, 45, 77, 81, 83, 85.
Shirwode 10.
Sighart 97.
Socrates 65.
Solinus **28**, 83.
Steinschneider 25, **30**, 33, 98.
Stephan v. Antiochien 34.
Strapulensis cf. Fabianus.
Suter 26, 27, 31—36, 81—89, 91, 95, 99.

T.

Tâbit ben Korra **32**, 33, 92.
Tanner 3, 4, 8, 9, 10, 19, 79.
Taisner cf. Joh. T.
Taruisinus cf. Antonius.
Thebites cf. Tâbit.
Theodosius **27**, 32, 82.
Theon 26.
Theophrast 25.
Thomas v. Aquin 8, 15.
Tideus **27**, 38, 49.
Traumüller cf. Gerland.

U.

Überweg cf. Heinze.
v. Urbanitzky 96.

V.

Verdet 39, 45.
Vincenz v. Beauvais 40, 65, 97.
Vittello 30, 63, 66, 68—72, 79, 83, 85.
Vitruvius 13, 65.

W.

Wadding 3, 7.
Wenrich 25.
Werner 33.
Wiedemann 8, 12, 13, 24, 26, 30, 31, 37—40, 50 ff.
Wilde 26, 39.
Windelband 17.
Winter 32, 39, 41, 54, 89.
Woepcke 30, 31, 71.
Wüstenfeld 5, 17, 25, 30—35.

Z.

Al-Zârkâlî (Arzachel) 34.

Druckfehler.

p. 17 Anm. 3 lies Windelband statt Windelland.
p. 14 letzte Zeile Dieterici statt Dicterici.
p. 31 5. und 26. Zeile v. ob. Schifâ statt Schafâ.
p. 35 Abschnitt „Artephius bis 1876“ fällt weg.
p. 62 Anm. 2 Aristotelis statt Aristolis.
p. 75 Anm. 1 Peckh. statt Penkh.
p. 75 Anm. 3 Peckh. statt Perkh.
p. 82 Zeile 19 v. ob. Theodosius statt Thedosius.
p. 83 Zeile 14 v. ob. Avicenna statt Aricenna.
p. 97 Albert. statt Albert
p. 99 Zeile 4 v. ob. Ktesibius statt Ktesibus.

Lebenslauf.

Der Verfasser vorliegender Schrift ist Vogl Sebastian, kath. Konfession; geboren den 22. Mai 1872 zu Reisach bei Oberaudorf, Bez.-Amt Rosenheim, als der Sohn des damaligen Grenzoberaufsehers Vogl Seb. und dessen Ehefrau Katharina, geb. Meyer.

Seine Gymnasialstudien machte er am kgl. humanistischen Gymnasium zu Passau, das er 1892 absolvierte. Hierauf oblag er am kgl. Lyceum dortselbst philosophischen und theologischen Studien und wurde 1896 zum Priester ordiniert. Nach kurzer Seelsorgstätigkeit versah er zwei Jahre lang die Stelle eines Präfekten am bischöflichen Knabenseminar zu Passau, worauf er sich an der Universität München dem Studium der Mathematik und Physik widmete. Er hörte die Vorlesungen der Herren Professoren: Anding, Bauer, Doehlemann, Graetz, Pringsheim, Geheimrat Roentgen, v. Seeliger. Hierauf widmete er sich unter Anleitung des Herrn Professors E. Wiedemann in Erlangen dem Studium der Geschichte der Physik mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED
LOAN DEPT.
This book is due on the last date stamped below, or on the date to which renewed.
Renewed books are subject to immediate recall.
RENEWALS ONLY - Tel. No. 642-3405
ICLF (N)
JUL 26 1968 12
RET'D TO BIOLOGY
DATE JUL 28 1968 13
AM PM
RECEIVED
JUL 29'69-8 PM
DEC 11 1974 90
REC'D CIRC DEPT SEP 18'74
LD 21A-60m-2,'67 (H241s10)476B
General Library University of California Berkeley